

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

FACULTAD DE ODONTOLOGÍA

E.A.P. DE ODONTOLOGÍA

**Estudio de la profundidad de polimerización de resinas
bulk fill a diferentes distancias de fotoactivación**

TESIS

Para obtener el Título Profesional de Cirujano Dentista

AUTOR

Yerlin Rubí Boza Quiñones

Lima – Perú

2015

JURADO DE SUSTENTACIÓN

Presidente : Mg. C.D. Carlos Humberto Campodónico Reátegui

Miembro : C. D. Esp. Arnaldo Alfredo Munive Degregori

Miembro (Asesor) : C.D. Esp. María Elena Núñez Lizárraga.

A Dios por ser la luz y guía en mi camino.

A mi padre Walter Boza Márquez, porque con su amor, esfuerzo, coraje y valentía me enseñó a luchar perseverantemente por mis sueños.

A mi madre Rubí Quiñones Trujillo, por su amor y apoyo incondicional, porque con sus sabios consejos y su ejemplo han hecho de mí una mejor persona.

A mis hermanos Jeramel Boza Quiñones y Pamela Boza Quiñones por brindarme su amor, por sus palabras de aliento, por apoyarme y alegrar todos mis días.

A mi abuelo Félix Quiñones, a mis tíos Miguel, Marce y Mary por el cariño que me brindan, por sus sabios consejos y por sus palabras de aliento que me ayudan a superar cada reto.

A mi familia y amigos por brindarme su cariño y apoyo en cada paso de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

A Dios.

A mi asesora la Dra. María Elena Núñez Lizárraga, por brindarme su apoyo constante para la realización de este trabajo.

Al jurado evaluador, Dr. Carlos Campodónico Reátegui y Dr. Arnaldo Munive Degregori, por sus comentarios y sugerencias.

Al Dr. César Pumacóndor Hernández; por su apoyo permanente, por su orientación y conocimientos impartidos para la realización del presente trabajo.

A la Dra. Martha Cecilia Rodríguez Vargas por brindarme su apoyo, conocimientos y orientación constante para la realización de este trabajo.

Al Dr. Jhon Mezarina Mendoza por el interés y orientación en la realización de la investigación

A mi amiga Cármen López Carranza por su apoyo para la realización de este trabajo.

A todos aquellos amigos quienes de alguna manera, apoyaron en la realización de la presente investigación.

A mi Alma Mater “Universidad Nacional Mayor de San Marcos” por albergarme en su regazo todos estos años de mi vida universitaria.

Muchas gracias.

RESUMEN

Las propiedades físicas de las resinas compuestas son muy importantes, por ello el objetivo del presente estudio fue determinar la profundidad de polimerización de las resinas “bulk fill” al ser fotoactivadas a diferentes distancias. La parte experimental se realizó utilizando el método ISO 4049, se elaboraron 36 moldes cilíndricos de 4mm de diámetro y 12 mm de altura, en las cuales se colocó la resina; se elaboraron 12 muestras de cada resina (resina A y resina B) y se dividieron de acuerdo a la distancia de fotoactivación (0mm y 4mm) por lo que se obtuvieron 6 grupos con 6 muestras de resina en cada grupo, todas se polimerizaron por LED a 10 segundos. La medición de la altura absoluta polimerizada de las muestras se realizó con un micrómetro de 0,01mm de precisión, finalmente cada altura absoluta fue dividida entre 2 lo cual se registró como la profundidad de polimerización de cada muestra. Los datos fueron sometidos a la prueba T-Student para muestras independientes y a la prueba ANOVA con un nivel de confianza de 95%. Los resultados mostraron que la resina A presentó mayor profundidad de polimerización que la resina B para las dos distancias de fotoactivación (0mm y 4mm). Los datos mostraron valores de $p < 0.05$ siendo estadísticamente significativa entre las resinas evaluadas. Se concluyó que las profundidades de polimerización de las resinas “bulk fill” están determinadas por la distancia de fotoactivación, la resina A presenta mayor profundidad de polimerización que la resina B.

Palabras claves: profundidad de polimerización, resinas compuestas bulk fill.

SUMMARY

The physical properties of the composites are very important so the aim of this study was to determine the depth of cure of resins "bulk fill" photoactivated at different distances. The experimental part was carried out using the ISO 4049 method, cylindrical molds 36 of 4mm diameter and 12 mm in height, in which the resin is placed is produced; 12 samples of each resin (resin A and resin B) were prepared and divided according to the distance of photoactivation (0mm and 4mm) so 6 groups were obtained with 6 resin samples in each group, all were polymerized by LED 10 seconds. Measuring the absolute height of all samples it was performed using a micrometer of 0.01mm accuracy absolute height finally each was divided between 2, which was recorded as the depth of cure of each sample. The data were submitted to the Student t-test for independent samples and ANOVA test with a confidence level of 95%. The results showed that the resin A showed further polymerisation resin B for the two distances photoactivation (0mm and 4mm). The data showed P values <0.05 were statistically significant between the resins evaluated. It was concluded that the depths of polymerization of the resins "bulk fill" are determined by the distance photoactivation, the resin A has greater depth of cure the resin B.

Keywords: depth of cure, composites bulk fill.

INDICE

I.	INTRODUCCIÓN	13
II.	PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	15
2.1.	ÁREA PROBLEMA	15
2.2.	DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA:.....	16
2.3.	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	17
2.4.	OBJETIVOS	17
2.4.1.	Objetivo General	17
2.4.2.	Objetivos específicos	17
2.5.	JUSTIFICACIÓN.....	17
2.6.	LIMITACIONES	18
III.	MARCO TEÓRICO	19
3.1	ANTECEDENTES	19
3.2	BASES TEÓRICAS	24
3.2.1	RESINAS COMPUESTAS	24
3.2.1.1	Composición Química	26
3.2.1.2	Clasificación de las resinas compuestas	31
3.2.1.3	Propiedades de las resinas compuestas	36
3.2.2	RESINAS COMPUESTAS USADAS EN EL ESTUDIO	45
3.2.3	FUENTES DE LUZ PARA FOTOPOLIMERIZACIÓN.	49
3.2.3.1	Clasificación de las tecnologías para fotopolimerización.....	49
3.2.4	PROFUNDIDAD DE POLIMERIZACIÓN	53
3.2.4.1	Métodos empleados para medir la profundidad de polimerización	54
3.3	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS.....	56
3.4	HIPÓTESIS.....	57
3.4.1	Hipótesis general	57
3.4.2	Hipótesis específicas.....	57
3.5	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	58
IV.	METODOLOGÍA	59
4.1	Tipo de Investigación.....	59
4.2	Muestra	59
4.3	Procedimientos y Técnicas	59
4.3.1	Confección de los moldes donde se elaboraron los bloques de resina	59

4.3.2	Confección de las muestras de resina	61
4.3.3	Medición de la profundidad de polimerización	63
4.4	PROCESAMIENTO DE DATOS	63
4.5	ANÁLISIS DE RESULTADOS	63
V.	RESULTADOS	65
VII.	DISCUSIÓN.....	70
VIII.	CONCLUSIONES.....	73
IX.	RECOMENDACIONES.....	73
X.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74
XI.	ANEXOS	82

LISTA DE IMÁGENES

IMAGEN N° 1: Constitución de una resina compuesta	25
IMAGEN N° 2: Formulación de la molécula de Bis-GMA.....	27
IMAGEN N° 3: Unión de resina a relleno a través de partículas de silano	31
IMAGEN N° 4: Mecanismo de desgaste “Plucking Out”	37
IMAGEN N° 5: Resina A.....	84
IMAGEN N° 6: Resina B.....	84
IMAGEN N° 7: Resina control	84
IMAGEN N° 8: Moldes.....	85
IMAGEN N° 11: Dispositivo de separación.....	85
IMAGEN N° 10: Micrómetro de 0,01 de precisión.....	85
IMAGEN N° 12: Colocación del molde sobre la platina portaobjetos y la cinta celuloide.	86
IMAGEN N° 13: Colocación de la resina A en el molde.....	86
IMAGEN N° 14: Colocación de la resina B en el molde	86
IMAGEN N° 15: Colocación de la cinta celuloide sobre la parte superior del molde	86
IMAGEN N° 16: Presión con el segundo portaobjetos de vidrio	86
IMAGEN N° 17: Retiro del portaobjetos superior.....	86
IMAGEN N° 18: Fotopolimerización a 0mm de distancia.....	87
IMAGEN N° 19: Fotopolimerización a 4mm de distancia con el dispositivo.	87
IMAGEN N° 20: Retiro del bloque de resina.....	87
IMAGEN N° 21 Retiro de la resina sin polimerizar.....	87
IMAGEN N° 22: Medida de la altura absoluta con un micrómetro.....	87
IMAGEN N° 23: Muestra 1	88
IMAGEN N° 24: Muestra 2	88
IMAGEN N° 25: Muestra 3	88
IMAGEN N° 26: Muestra 4	88
IMAGEN N° 27: Muestra 5	88

IMAGEN N° 28: Muestra 6	88
IMAGEN N° 29: Muestra 7	89
IMAGEN N° 30: Muestra 8	89
IMAGEN N° 31: Muestra 9	89
IMAGEN N° 32: Muestra 10	89
IMAGEN N° 33: Muestra 11	89
IMAGEN N° 34: Muestra 12	89
IMAGEN N° 35: Muestra 13	90
IMAGEN N° 36: Muestra 14	90
IMAGEN N° 37: Muestra 15	90
IMAGEN N° 38: Muestra 16	90
IMAGEN N° 39: Muestra 17	90
IMAGEN N° 40: Muestra 18	90
IMAGEN N° 41: Muestra 19	91
IMAGEN N° 42: Muestra 20	91
IMAGEN N° 43: Muestra 21	91
IMAGEN N° 44: Muestra 22	91
IMAGEN N° 45: Muestra 23	91
IMAGEN N° 46: Muestra 24	91
IMAGEN N° 47: Muestra 25	92
IMAGEN N° 48: Muestra 26	92
IMAGEN N° 49: Muestra 27	92
IMAGEN N° 50: Muestra 28	92
IMAGEN N° 51: Muestra 29	92
IMAGEN N° 52: Muestra 30	92
IMAGEN N° 53: Muestra 31	93
IMAGEN N° 54: Muestra 32	93
IMAGEN N° 55: Muestra 33	93

IMAGEN N° 56: Muestra 34	93
IMAGEN N° 57: Muestra 35	93
IMAGEN N° 58: Muestra 36	93

LISTA DE TABLAS

Tabla N° 1: Profundidad de polimerización de las resinas fotoactivadas a 0mm y 4mm.	65
Tabla N° 2: Profundidad de polimerización de la resina A fotoactivada a 0mm y 4mm de distancia.....	66
Tabla N° 3: Profundidad de polimerización de la resina B fotoactivada a 0mm y 4mm de distancia.....	67
Tabla N°4: Profundidad de polimerización de la resina control fotoactivada a 0mm y 4mm de distancia.	67
Tabla N° 5: Profundidad de polimerización de las resinas fotoactivadas a 0mm de distancia.....	68
Tabla N° 6: Profundidad de polimerización de las resinas fotoactivadas a 4mm de distancia.....	69

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico N° 1: Promedio de la profundidad de polimerización de las resinas fotoactivadas a 0mm y a 4mm de distancia.....	66
Gráfico N° 2: Profundidad de polimerización de las resinas fotoactivadas a 0m de distancia.....	68
Gráfico N° 3: Profundidad de polimerización de las resinas fotoactivadas a 4mm de distancia.....	69

LISTA DE ANEXOS

ANEXO N° 1: Ficha de recolección de datos.....	82
ANEXO N° 2: Fotografía de materiales	83
ANEXO N° 3: APLICACIÓN DEL MÉTODO ISO 4049	86
ANEXO N° 4: Fotografías de las mediciones de la muestra con el micrómetro de 0.01 de precisión.....	88
ANEXO N° 5: Tabla de la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk.....	94
ANEXO N° 6: Prueba T-Student y prueba de Levene de los grupos Resina A a 0mm y Resina A a 4mm de distancia de fotoactivación.	94
ANEXO N° 7: Prueba T-Student y prueba de Levene de los grupos Resina B a 0mm y Resina B a 4mm de distancia de fotoactivación.	94
ANEXO N° 8: Prueba T-Student y prueba de Levene de los grupos Resina control a 0mm y Resina control a 4mm de distancia de fotoactivación.....	95
ANEXO N° 9: Prueba ANOVA para las muestras de la Resina A fotoactivada a 0mm, Resina B fotoactivada a 0mm y Resina control fotoactivada a 0mm.....	95
ANEXO N° 10: Prueba ANOVA para las muestras de la Resina A fotoactivada a 4mm, Resina B fotoactivada a 4mm y Resina control fotoactivada a 4mm.....	95
ANEXO N° 11: Prueba HSD Tukey para los grupos de las resinas fotoactivadas a 0mm de distancia.....	96
ANEXO N° 12: Prueba HSD Tukey para los grupos de las resinas fotoactivadas a 4mm de distancia.....	96

I. INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas relacionados con las resinas compuestas fotopolimerizables es la limitada profundidad de polimerización y la posibilidad de conversión del monómero a una profundidad insuficiente. Desde que se introdujeron estos materiales, el grado de conversión fue reconocido como vital para su éxito clínico¹.

Los factores que afectan a la profundidad de polimerización, incluyen: la distancia desde la punta de la unidad de fotopolimerización hasta la superficie de la resina, el tipo de resina compuesta, sombra y translucidez; el espesor mínimo del incremento. La energía de la luz emitida por una unidad de fotopolimerización disminuye drásticamente cuando se transmite a través de la resina compuesta y conduce a una disminución gradual en el grado de conversión al aumentar la distancia desde la superficie irradiada¹.

Se ha demostrado que la polimerización insuficiente puede conducir a la disminución de las propiedades físicas, mecánicas y biológicas de las resinas compuestas por lo que puede dar lugar a un fallo prematuro de una restauración o puede afectar al tejido pulpar¹.

Las resinas compuestas convencionales polimerizan hasta 2mm. Para reducir los efectos de la contracción de polimerización se aplica la técnica incremental en la que se permite como máximo 2mm de incremento. Sin embargo existen varias desventajas asociadas a esta técnica: la incorporación de burbujas o contaminantes entre las capas compuestas, dificultad de colocación debido al acceso limitado a las cavidades pequeñas y un tiempo de tratamiento prolongado para la colocación de las capas y su polimerización.

Por lo tanto, varios fabricantes han introducido recientemente nuevos tipos de resinas compuestas, llamados materiales "bulk fill", que se han desarrollado para permitir un

incremento único de hasta 5mm sin alterar las propiedades físicas y mecánicas de la resina. Estas resinas compuestas nanohíbridas permiten realizar restauraciones posteriores optimizando el tiempo de trabajo sin alterar sus resultados clínicos lo que permite realizar restauraciones dentarias en aquellos pacientes donde el tiempo de tratamiento juega un rol importante: en niños, pacientes ansiosos, pacientes con disfunciones temporomandibulares que no pueden mantener la boca abierta por un tiempo prolongado.

Dentro de esta nueva generación de materiales, encontramos las resinas “bulk fill” que dentro de esta investigación se llamarán resina A y resina B. Sin embargo, queda la duda de cuál será la profundidad de polimerización de estas resinas, al ser fotoactivadas a diferentes distancias desde la punta de la unidad de fotopolimerización.

Por todo lo expuesto, el propósito de este estudio es determinar y comparar la profundidad de polimerización de la resina A y de la resina B al ser fotoactivadas a diferentes distancias.

II. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

2.1. ÁREA PROBLEMA

La resina es un material restaurador presente desde la década del 70, a pesar de tener muchos problemas iniciales frente a la amalgama, fue ganando preferencia tanto por el odontólogo como por los pacientes.

En un inicio se pensó solo como un material restaurador de piezas anteriores pero sus propiedades han ido evolucionando para utilizarlo como un material restaurador universal, debido a la demanda creciente de técnicas de obturación más simples por parte de los odontólogos.

Con la constante evolución de los materiales de restauración de resina, la evaluación de las propiedades de estos sirve como un puente entre las ciencias de los materiales fundamentales y sus aplicaciones clínicas.

Actualmente, muchos de los fabricantes de los materiales dentales más importantes han introducido lo que conocemos como resinas de único incremento o resinas “bulk fill”. Mientras que las resinas compuestas convencionales presentan una profundidad de polimerización de 2 milímetros, estos nuevos materiales de obturación presentan hasta 5 milímetros de profundidad de polimerización.

Gracias a esta propiedad, los odontólogos pueden aplicar menos capas para obturar un diente en menor tiempo sin perder calidad. Según la literatura estos nuevos materiales de nanotecnología consiguen que la colocación de resinas compuestas en piezas posteriores sea aún más fácil y eficiente manteniendo sus propiedades físicas adecuadamente.

2.2. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA:

La energía de la luz emitida por una unidad de fotopolimerización disminuye drásticamente cuando se transmite a través de resinas compuestas; mientras se incrementa la distancia desde la superficie de fotoactivación hasta la resina compuesta se produce una disminución gradual en el grado de conversión de la resina, además aumenta la cantidad de monómero sin polimerizar, esto conduce a una disminución en la profundidad de polimerización; por tanto, puede dar lugar a un fallo prematuro de la restauración o puede afectar al tejido pulpar.¹

La profundidad de polimerización determina que tan grueso puede ser un cuerpo de resina fotopolimerizable manteniendo al mismo tiempo un nivel de conversión de monómero aceptable (>50%).²

Para restaurar cavidades con resinas compuestas fotopolimerizables, la técnica que se ha considerado como "gold estándar" es la técnica incremental, en la que se deben realizar incrementos de espesor limitado; la profundidad de polimerización de las resinas convencionales es de 2 mm, por ello esta técnica permite como máximo 2mm de espesor de cada incremento.³

Para disminuir el tiempo de tratamiento y el riesgo de incorporar burbujas de aire o contaminantes entre los incrementos, se han desarrollado nuevas resinas compuestas, llamadas materiales "bulk fill" que presentan una profundidad de polimerización hasta de 5mm, lo cual permite realizar restauraciones en bloque sin alterar las propiedades físicas y mecánicas de la resina. Según la literatura, un factor importante que determina la profundidad de polimerización es la distancia desde la unidad de luz hasta la resina; sin embargo, no se han encontrados estudios que evalúen la profundidad de polimerización a distancias mayores a 0mm de fotoactivación, por ello objetivo

de esta investigación es determinar la profundidad de polimerización de las resinas “bulk fill” al ser fotoactivadas a diferentes distancias.

2.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuál es la profundidad de polimerización de las resinas “bulk fill” al ser fotoactivadas a diferentes distancias?

2.4. OBJETIVOS

2.4.1. Objetivo General

- Determinar la profundidad de polimerización de las resinas “bulk fill” al ser fotoactivadas a diferentes distancias

2.4.2. Objetivos específicos

- Determinar la profundidad de polimerización de las muestras de las resinas A y B aplicadas en un solo bloque al iluminar por 10 segundos mediante luz L.E.D. a 0 mm de distancia.
- Determinar la profundidad de polimerización de las muestras de las resinas A y B aplicadas en un solo bloque al iluminar por 10 segundos mediante luz L.E.D. a 4 mm de distancia.
- Comparar la profundidad de polimerización de las resinas A y B a diferentes distancias.

2.5. JUSTIFICACIÓN

En la actualidad existen en el mercado resinas “bulk fill” que según las indicaciones del fabricante se pueden colocar en un solo bloque de 4 a 5 mm sin alterar sus propiedades físico-químicas. Estas nuevas resinas en su

gran mayoría son indicadas para colocar en cavidades clase I y II de piezas posteriores; uno de los factores importantes que influye en la profundidad de polimerización es la distancia desde la punta de la unidad de fotopolimerización hasta la superficie de la resina, en la práctica clínica no siempre se logra colocar la unidad de fotoactivación a 0 mm de distancia de la restauración de resina; sin embargo no existen investigaciones que comprueben la profundidad de polimerización de las resinas “bulk fill” al ser fotoactivadas a diferentes distancias; por ello con este estudio se busca determinar la profundidad de polimerización de las resinas “bulk fill” al ser fotoactivadas a 2 diferentes distancias, lo cual nos dará una visión objetiva de la influencia de la distancia de fotoactivación sobre la profundidad de polimerización de las resinas “bulk fill”. Es importante determinar estos parámetros para poder aplicar estas resinas en bloques de 4-5mm lo que nos permitirá realizar restauraciones en aquellos pacientes cuyo perfil de atención clínica requiere de menor tiempo: niños, pacientes con habilidades especiales, pacientes con disfunciones temporomandibulares; con el menor tiempo posible sin perder la calidad de la restauración.

2.6. LIMITACIONES

- ✓ La principal limitación que se presenta es no poder reproducir las condiciones del medio bucal con total exactitud.
- ✓ Difícil obtención de estas resinas en el mercado.
- ✓ Escasos antecedentes de estudios realizados con este tipo de resinas, por su reciente incorporación al mercado.

III. MARCO TEÓRICO

3.1 ANTECEDENTES

Benetti A (2015), En Dinamarca, realizó una investigación experimental para comparar la profundidad de curado, la contracción de polimerización, y la formación de brechas en compuestos de resina “bulk fill” con las de un compuesto de resina convencional. La profundidad de polimerización se evaluó de acuerdo con la ISO 4049. Se investigaron cinco compuestos de resina “bulk fill”: dos materiales de alta viscosidad (Tetric EvoCeram Bulk Fill, SonicFill) y tres de baja viscosidad (base x-tra, Venus Bulk Fill, SDR). En comparación con la resina convencional compuesta, los materiales “bulk fill” de alta viscosidad expuestos presentaron sólo un pequeño aumento (pero significativo para Tetric EvoCeram Bulk Fill) en la profundidad de curado y la contracción de polimerización, mientras que los materiales “bulk fill” de baja viscosidad han producido una profundidad de polimerización y contracción de polimerización significativamente mayores.⁴

Jang J (2014), En Korea realizó un estudio experimental cuyo objetivo fue evaluar la contracción de polimerización y la profundidad de polimerización de resinas “Bulk-Fill” y de resinas fluidas de alto relleno. Se compararon una resina fluida de alto relleno (G-aenial universal Flow [FSI]), dos resinas fluidas “Bulk Fill” (Surefil Flow SDR [DEG] y Venus Bulk Fill [VBF]), y un compuesto “Bulk Fill” no fluido (Tetric N-Ceram “Bulk Fill” [TBF]) con dos resinas convencionales (Tetric Flow [TF], Filtek Supremo Ultra [FS]). Para evaluar la profundidad de polimerización, se prepararon muestras de material usando moldes con un orificio de 4 mm de profundidad y 4 mm de diámetro interno, luego se midió la dureza de la superficie en la parte

superior y en la parte inferior de la muestra con un identador de microdureza Vickers (HV). Los fluidos “Bulk Fill” (SDR y VBF) presentaron mayor profundidad de polimerización que las resinas convencionales, además todas las resinas fueron debidamente polimerizadas hasta 4 mm de profundidad.⁵

Alrahlah. A (2013), Realizó una investigación experimental en Arabia Saudita cuyo objetivo fue evaluar la profundidad de polimerización post tratamiento en resinas compuestas “Bulk Fill”. Se examinaron cinco resinas “Bulk Fill”: Tetric EvoCeram® Bulk Fill, X-tra base, Venus®Bulk Fill, FiltekTMBulk Fill, SonicFill™. Se prepararon tres muestras de cada tipo (n=3) de material en moldes de acero inoxidable que contenía una ranura de dimensiones (15 mm x 4 mm x 2 mm), y una placa superior. Los moldes fueron irradiados desde un extremo. Para medir la profundidad de polimerización se utilizó un identador de microdureza, Vickers para medir a intervalos de 0,3 mm. Los datos fueron analizados mediante ANOVA de un factor utilizando el test Tukey post hoc ($\alpha = 0,05$). Las resinas SonicFill y Tetric EvoCeram Bulk Fill tuvieron la mayor profundidad de curado (5,03 y 4,47 mm, respectivamente). Los compuestos de resina “bulk fill” se pueden polimerizar a una profundidad aceptable, de acuerdo a las demandas de los fabricantes.²

Flury S (2012), En Suiza, realizó una investigación experimental para evaluar si la profundidad de polimerización D^{ISO} determinada por el método ISO 4049 es exactamente reflejada por la profundidad de polimerización D^{NEW} determinado por los perfiles de microdureza, Vickers en los materiales “bulk fill”. Se usaron dos materiales de control (Filtek Supreme Plus, Filtek Silorane) y cuatro materiales “bulk fill” (Surefil DEG, Venus Bulk Fill, Quixfil, Tetric Evo- Ceram Bulk Fill) y se fotocuraron por 10 s.

Para D^{NEW} , se hicieron moldes que luego se evaluaron con un dispositivo de indentación de microdureza y se hicieron mediciones de dureza (dureza Vickers, VHN). La D^{ISO} se determinó de acuerdo con "La profundidad de curado ISO 4049 " para lo cual se prepararon muestras de resina compuesta (n = 6 por grupo) y se fotocuraron por 10 s. La profundidad de polimerización por la norma ISO 4049 se realizó con moldes de acero inoxidable reutilizable, según la norma ISO 4049: 2000. Se hicieron moldes de acero de 6 mm, 9 mm, o 15 mm de longitud y 4 mm de diámetro, se polimerizaron los moldes, después los especímenes cilíndricos fueron expulsados y se eliminó del molde con una espátula de plástico el compuesto de resina sin curar. A continuación, se midieron los especímenes de resina fotocurada con un calibrador digital de $\pm 0,01$ mm precisión (Mitutoyo IP 65, Kawasaki, Japón). La longitud absoluta (AL) se dividió por dos y el éste último valor se registró como D^{ISO} , con este método se observó que la profundidad de polimerización de la resina Tetric Evo- Ceram Bulk Fill presentó una profundidad de polimerización de 3,83 mm. Concluyó que para los materiales "bulk fill" el método ISO 4049 sobreestimó la profundidad de curado en comparación con el método de perfiles de microdureza, Vickers. ¹

Caro M (2012), En Santiago de Chile, realizó un estudio comparativo in vitro de la profundidad de polimerización de resinas compuestas fluidas polimerizadas por luz L.E.D versus luz halógena, a través de resinas compuestas previamente endurecidas; distribuyó 4 grupos de 15 muestras cada uno para lo cual confeccionó 2 especímenes de resina compuesta (Art-glass, Heraeus Kulzer, Germany, color A3): 1 espécimen de 3mm de alto, y 6mm de diámetro. 1 espécimen de 4mm de alto, y 6mm de diámetro; a través de estos se polimerizó espesores de resina fluida

WAVE, IV, SDI, Australia. color A3 de 4mm de alto y 6mm de diámetro utilizando una lámpara de luz halógena Elipar™ 2500 3M, y una lámpara de luz L.E.D. RADII SDI con un tiempo de polimerización de 40 segundos. Utilizó estas dimensiones en una modificación del protocolo detallado en la norma ISO: 4049. 2009. Concluyó que existen diferencias significativas en la profundidad de polimerización de resina compuesta fluida al interponer bloques de resina indirecta y que estas diferencias son mayores a medida que aumenta el grosor del cuerpo interpuesto. Además determinó que es posible lograr profundidades de polimerización adecuados tanto con luz LED de segunda generación como con una unidad halógena convencional al polimerizar resina fluida a través de cuerpos de resina indirecta de hasta 3mm por 40 segundos. Estos valores resultan insuficientes al aumentar el espesor de la resina indirecta a 4mm según la norma ISO: 4049.³

Moore B (2008), En Estados Unidos, realizó un estudio experimental para evaluar la profundidad curado de resinas compuestas mediante el método ISO 4049, investigó la profundidad de polimerización de un compuesto de resina comercial en tres tipos: fluida, híbrido y fácil empaquetado. Se condensaron tres muestras de cada tipo de material de 4 mm de diámetro y 6 mm de profundidad, se condensaron en moldes de teflón. Se colocó un separador de metal a 1 mm sobre el molde para mantener la punta de la luz activando 1 mm atrás de la superficie de la resina. Los especímenes fueron activados durante 20 segundos, se raspó el material blando después de la activación y se midió la longitud del material restante con un micrómetro digital en tres lugares y se obtuvo una longitud media. Este valor se divide por dos para obtener la profundidad de polimerización de la norma ISO 4049. Se concluyó que las resinas estudiadas en las formulaciones empacables fluida, híbrido no

alcanzaron una profundidad de polimerización de 2 mm de curación con 20 segundos de exposición de luz.⁶

Veranes Y (2005), Estudió la profundidad de polimerización, el módulo de compresión, resistencia a la compresión diametral, dureza y desgaste de seis formulaciones de composites dentales fotopolimerizables los composites fueron preparados usando como matrices combinaciones de Bis-GMA/DMATEEG, Bis- GMA/MPS, Bis-GMA/DMATEEG/MPS. La determinación de la profundidad de curado se realizó según la norma ISO 4049, para lo cual se preparó tres probetas de los composites en moldes metálicos de 4 mm de diámetro x 6 mm de altura. Las muestras se irradiaron 40 segundos por una de las caras, se retiraron del molde eliminando con ayuda de una espátula plástica la pasta que no polimerizó. Se midió la altura con un micrómetro (0,01 mm de precisión) y se dividió por dos el valor obtenido. Los resultados de la profundidad de curado (Pc) varían entre 1,45 mm y 2,98 mm. Los mayores valores de esta propiedad se obtuvieron para las resinas TMC ($2,98 \pm 0,01$ mm) y TMA₈ ($2,96 \pm 0,01$ mm), los cuales difieren significativamente. Las formulaciones preparadas con el sistema Bis-GMA/ MPS presentaron valores de profundidad de curado inferiores a 2 mm mientras que la resina comercial (control) tuvo profundidad de curado igual a $2,49 \pm 0,03$ mm.⁷

3.2 BASES TEÓRICAS

3.2.1 RESINAS COMPUESTAS

El desarrollo de las resinas compuestas se ha centrado, últimamente, en el perfeccionamiento de los mecanismos de iniciación de la polimerización, así como en la nanotecnología para un óptimo relleno. Gracias a todas estas investigaciones los composites han desplazado completamente a los cementos de silicato, y actualmente constituyen una alternativa terapéutica que permite no solo la consecución de obturaciones estéticas, sino también la restauración de dientes posteriores con un importante ahorro de tejido dentario sano.⁸

Desde que Bowen desarrolló la resina de Bis-GMA y Bounocuore la técnica del grabado ácido, este material compuesto ha sido objeto de activo de investigación, lo que ha originado numerosos cambios en su química, partículas de relleno y manipulación.⁸

Los composites fueron definidos por Phillips como una combinación de al menos dos materiales de distinta naturaleza química y con interfases diferentes. El término de resina compuesta se utiliza para definir un material constituido por tres fases diferentes: la fase matriz o resina, la fase dispersa o de relleno y la fase interfacial o de unión constituida por agentes silano. Cada una de estas fases es la responsable de una serie de propiedades de los composites y es potencialmente una fuente de clasificación y estudio de los mismos.⁹

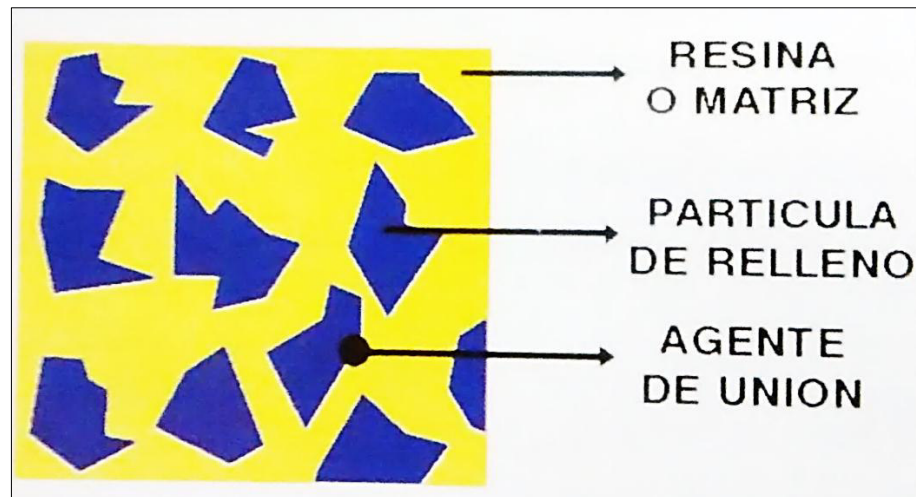


IMAGEN N° 1: Constitución de una resina compuesta

Origen de las resinas compuestas

Las resinas compuestas surgieron en el inicio de los años sesenta como resultado de numerosas tentativas para obtener un material restaurador estético superior a los materiales hasta entonces existentes como las resinas acrílicas y los cementos de silicato; aparecieron en el mercado como evolución de las resinas acrílicas restauradoras. La estructura de las resinas fue modificada para mejorar su estabilidad y sus propiedades mecánicas.¹⁰

En 1956 Bowen desarrolló la molécula de Bis-GMA (bisfenol A glicil metacrilato), más estable dimensionalmente pues sufría menos contracción de polimerización. Posteriormente, a esta matriz orgánica se le añadieron partículas inorgánicas que recibían un tratamiento con un agente silanizador para que hubiese una mejor interacción entre las fases orgánicas e inorgánicas. Estas resinas presentaban partículas de cuarzo en una cantidad de 70-80% en peso, con un tamaño medio de partícula mayor a 15µm, pudiendo llegar hasta las 100 µm. Estas primeras resinas que aparecieron en el mercado fueron denominadas convencionales, tradicionales o de macrorrelleno. Debido a los inconvenientes que

presentaban, entre otros, los relacionados al desgaste y a la rugosidad superficial, se realizó una modificación drástica en la composición y en el tamaño de las partículas de carga, surgiendo de esta manera las resinas de microrrelleno al inicio de los años setenta. El componente inorgánico de estas resinas era sílice coloidal y el tamaño medio de las partículas obtenidas era de 0,001 μm a 0,01 μm .¹¹

Las resinas compuestas fueron utilizándose cada vez más y hubo la necesidad de mejorar sus propiedades mecánicas, químicas y estéticas. Las llamadas resinas compuestas híbridas surgieron por la tentativa de desarrollar composites con las propiedades mecánicas de los composites convencionales y la textura superficial y brillo de los composites microhíbridos.⁸

3.2.1.1 Composición Química

A. Fase Orgánica o Matriz

En su composición aparecen tres sistemas. El más relevante es el sistema de monómeros; el sistema iniciador; útil para la polimerización de los radicales libres; y el sistema estabilizador, necesario para maximizar la estabilidad del complejo durante su almacenamiento, así como su estabilidad química durante la fase de resina curada.⁸

a. Monómero

El monómero base más utilizado durante los últimos 30 años ha sido el Bis-GMA o matriz de Bowen, tiene mayor peso molecular lo que implica que su contracción durante la polimerización sea mucho menor, además presenta menor volatilidad y menor difusividad en los tejidos.¹²

Se obtiene a partir de tres moléculas base: el bisfenol, el alcohol glicídico y el ácido metacrílico. Este monómero bifuncional supera al metacrilato por su alto peso molecular y estructura química, que lo dota de una muy baja volatilidad, baja contracción de polimerización, fraguado rápido y generación de una resina más dura. La configuración química y espacial de la molécula de Bis-GMA la convierte en un preparado rígido y viscoso; la rigidez se debe a la presencia en la estructura de los dos ciclos aromáticos de la parte central de la molécula para producir la unión de los monómeros; la viscosidad se debe a la existencia de los dos radicales hidroxilo por su facilidad a establecer puentes de hidrógeno, además estos puentes de hidrógeno promueven la adsorción de agua.⁸

Un exceso de adsorción acuosa en la resina tiene efectos negativos en sus propiedades y promueve una posible degradación hidrolítica.¹³

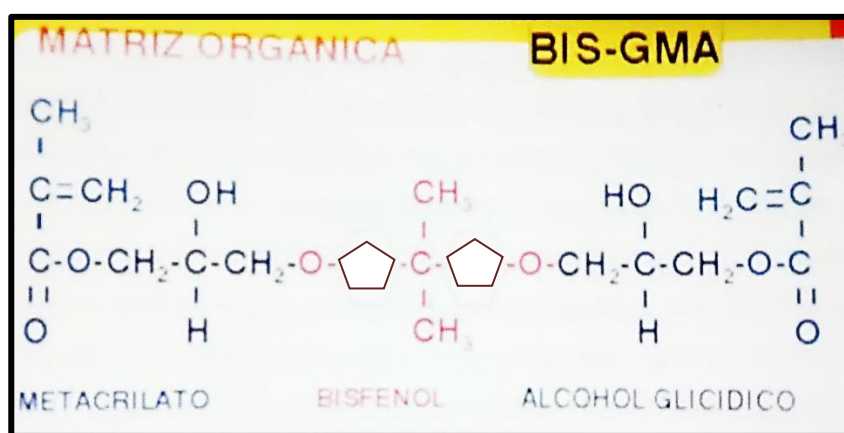


IMAGEN N° 2: Formulación de la molécula de Bis-GMA

Para contrarrestar estos inconvenientes las formulaciones actuales se les han añadido monómeros de bajo peso molecular como metacrilato de metilo (MMA), dimetacrilato de tetraetilenglicol (TEGMA) y etilenglicol dimetacrilato (EDMA). Al reducir la viscosidad de la mezcla monomérica se puede incorporar más relleno dentro de ella.¹⁴

Actualmente, monómeros menos viscosos como el Bis-EMA (Bisfenol A Polietileno glicol dieter dimetacrilato), han sido incorporados en algunas resinas, lo que causa una reducción de TEGDMA. El Bis-EMA posee mayor peso molecular y tiene menos uniones dobles por unidades de peso, en consecuencia produce una reducción de la contracción de polimerización, confiere una matriz más estable y también mayor hidrofobicidad, lo que disminuye su sensibilidad y alteración por la humedad.¹⁵ Otro monómero ampliamente utilizado, acompañado o no de Bis-GMA, es el UDMA (dimetacrilato de uretano). Su ventaja es que posee menos viscosidad y mayor flexibilidad lo que mejora la resistencia de la resina. Las resinas compuestas basadas en UDMA pueden polimerizar más que las basadas en Bis-GMA.¹⁶

b. Iniciadores

El desdoblamiento de los dobles enlaces de los oligómeros se hace mediante radicales libres creados *in situ*. Las reacciones de iniciación pueden desarrollarse por vía química, fotoquímica, radioquímica y térmica.⁸

La iniciación de la activación química, que desarrolla el fenómeno de la autopolimerización, se produce por la presencia de moléculas capaces de generar radicales libres. En las resinas autocuradas el estímulo proviene de la mezcla de dos pastas, una de las cuales tiene un activador químico (amina terciaria aromática como el dihidroxietil-p-toluidina) y la otra un iniciador (peróxido de benzoilo).¹⁷

La mezcla de ambos compuestos puede ser imperfecta y, por lo tanto, la reacción química de polimerización quedar incompleta. Esta reacción de polimerización puede ser inhibida por el oxígeno de aire (capa inhibida),

así como ciertas moléculas tipo fenol (eugenol, hidroquinina...), lo que contraindica el uso de cementos de óxido de zinc-eugenol bajo los composites.⁸

En el caso de los sistemas fotocurado, la energía de la luz visible provee el estímulo que activa un iniciador de la resina (canforoquinonas, lucerinas u otras dicetonas). Es necesaria que la resina sea expuesta a una fuente de luz con la adecuada longitud de onda entre 420 y 500 nanómetros en el espectro de luz visible.¹⁷

c. Inhibidores

Durante periodos prologados de almacenamiento se podrían desencadenar, de forma espontánea, reacciones de polimerización. Para evitarlo, las resinas llevan incorporadas sustancias inhibidoras. Se combinan con la totalidad de los radicales activos para encapsularlos e impedir su polimerización.⁸ Si se ha formado un radical libre, como en una breve exposición a la luz cuando se ha dispersado el material, el inhibidor reacciona con el radical libre y así inhibe la propagación de la cadena terminando la capacidad.¹⁸ Los inhibidores más comunes son la benzoquinona y la hidroquinona, así como los derivados del fenol, como el P-4 metoxifenol (PMP) y el butil-fenol triterciario (BHT).⁸

B. Fase dispersa o de relleno

Está constituida por partículas de diferentes tamaños que dotan de propiedades mecánicas adecuadas proporcionando estabilidad dimensional a la matriz resinosa.⁸ La adición de estas partículas a matriz reduce la contracción de polimerización, la sorción acuosa y el coeficiente de expansión térmica, proporcionando un aumento de la resistencia a la

tracción a la compresión y a la abrasión, aumentando el módulo de elasticidad (rigidez).¹⁹ Las partículas de relleno más utilizadas son las de cuarzo o vidrio de bario y son obtenidas de diferentes tamaños a través de diferentes procesos de fabricación (pulverización, trituración, molido). Las partículas de cuarzo son dos veces más duras y menos susceptible a la erosión que el vidrio, además de que proporcionan mejor adhesión con los agentes de conexión (silano). También son utilizadas partículas de sílice de un tamaño aproximado de 0,04mm (micropartículas), las cuales son obtenidas a través de procesos pirolíticos o de precipitación (sílice coloidal).^{16,19}

C. Agentes de unión matriz-relleno

Durante el desarrollo inicial de las resinas compuestas, las propiedades del material, dependían de la formación de una unión fuerte entre el relleno inorgánico y matriz orgánica.³⁰ Es importante que las partículas de relleno se unan a la matriz de resina; esto permite que la matriz del polímero, más flexible, transfiera las tensiones a las partículas de relleno, más rígidas. Este enlace lo proporciona un agente de unión o de acoplamiento. Este agente puede hacer que mejoren las propiedades físicas y mecánicas y puede proporcionar estabilidad hidrolítica para prevenir la penetración de agua a través de la interfase relleno-resina.⁸

Los agentes de acoplamientos más utilizados son los compuestos órganos silanos, los que tienen grupos silanos (Si-OH) en un extremo y grupos metacrilatos (C=C) en el otro siendo así moléculas con doble polaridad (bifuncionales), ya que pueden reaccionar mediante enlaces de tipo covalente con la superficie orgánica y por enlaces iónicos a la

superficie inorgánica, uniendo así químicamente el relleno reforzado a la matriz resinosa.¹⁴

El silano que se utiliza con mayor frecuencia es el γ - metacril-oxipropiltrimetoxi-silano (MPS), éste es una molécula bipolar que se une a las partículas de relleno cuando son hidrolizados a través de puentes de hidrógeno, además posee grupos metacrilatos, los cuales forman uniones covalentes con la resina durante el proceso de polimerización ofreciendo una adecuada interfase resina/partícula de relleno.²¹

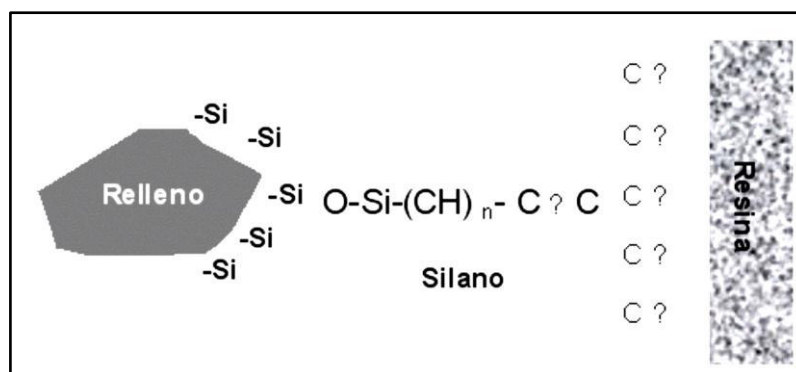


IMAGEN N° 3: Unión de resina a relleno a través de partículas de silano

Asimismo el silano mejora las propiedades físicas y mecánicas de la resina compuesta, pues establece una transferencia de tensiones de la fase que se deforma fácilmente (matriz resinosa), para la fase más rígida (partículas de relleno). Además, estos agentes de acoplamiento previenen la penetración de agua en la interfase BisGMA / Partículas de relleno, promoviendo una estabilidad hidrolítica en el interior de la resina.²¹

3.2.1.2 Clasificación de las resinas compuestas

Se podría partir de la forma en que son obtenidas las partículas. Los procedimientos pueden ser mecánicos o reacciones químicas con sustancias específicas²². A lo largo de los años las resinas compuestas se

han clasificado de distintas formas con el fin de facilitar al odontólogo su identificación y posterior uso terapéutico. Una clasificación aun valida es la propuesta por Lutz y Phillips, esta clasificación divide las resinas basado en el tamaño y distribución de las partículas de relleno en: convencionales o macrorelleno (partículas de 0,1 a 100mm), microrelleno (partículas de 0,04mm) y resinas híbridas (con rellenos de diferentes tamaños).²³

A. Tamaño de la partícula de relleno

Actualmente se pueden reunir las resinas compuestas en cinco categorías principales:

I. Resinas de macrorelleno o convencionales

Tienen partículas de relleno con un tamaño promedio entre 10 y 50 μm .⁸ Este tipo de resinas fue muy utilizada, sin embargo, sus desventajas justifican su desuso. Su desempeño clínico es deficiente y el acabado superficial es pobre, visto que hay un desgaste preferencial de matriz resinosa, propiciando la prominencia de grandes partículas de relleno las cuales son más resistentes. Además, la rugosidad influencia el poco brillo superficial y produce una mayor susceptibilidad a la pigmentación²⁴. Los rellenos más utilizados en este tipo de resinas fueron el cuarzo y el vidrio de estroncio o vidrio de bario²⁵. El relleno de cuarzo tiene buena estética y durabilidad pero carece de radiopacidad y produce un alto desgaste al diente antagonista. El vidrio de estroncio o vidrio de bario son radiopacos pero desafortunadamente son menos estables que el cuarzo.²⁶

II. Resinas de microrelleno

Estas contienen relleno de sílice coloidal con un tamaño de partícula entre 0.01 y 0.05 μm . Clínicamente estas resinas se comportan mejor en la región anterior, donde las ondas y la tensión masticatoria son relativamente pequeñas, proporcionan un alto nivel de pulido y brillo superficial, confiriendo alta estética a la restauración¹⁶. Entre tanto, cuando se aplican en la región posterior muestran algunas desventajas, debido a sus inferiores propiedades mecánicas y físicas, ya que, presentan mayor porcentaje de sorción acuosa, alto coeficiente de expansión térmica y menor módulo de elasticidad.²⁷

III. Resinas híbridas

La combinación de diferentes tamaños de partículas da origen a los que se denominan resinas “híbridas” y a las microhíbridas¹⁹. Se denominan así por estar reforzados por una fase inorgánica de vidrios de diferente composición y tamaño en un porcentaje en peso de 60% o más, con tamaños de partículas que oscilan entre 0,6 y 1 μm , incorporando sílice coloidal con tamaño de 0,04 μm . Corresponden a la gran mayoría de los materiales compuestos actualmente aplicados al campo de la odontología.²⁸

Los aspectos que caracterizan a estos materiales son: disponer de gran variedad de colores y capacidad de mimetización con la estructura dental, menor contracción de polimerización, baja sorción acuosa, excelentes características de pulido y texturización, abrasión, desgaste y coeficiente de expansión térmica muy similar al experimentado por las estructuras dentarias, fórmulas de uso universal tanto en el sector anterior como en el posterior, diferentes

grados de opacidad y translucidez en diferentes matices y fluorescencia.^{29,30}

IV. Resinas Nanohíbridas

Son resinas híbridas a las cuales se les ha incorporado partículas de relleno inorgánico en escala manométrica, es decir mínimo 3 tamaños de partículas nanométricas, con lo cual se logra mejorar las propiedades físicas.³¹

V. Híbridos Modernos

Este tipo de resinas tienen un alto porcentaje de relleno de partículas sub-micrométricas (más del 60% en volumen). Su tamaño de partícula reducida (desde 0.4 μm a 1.0 μm), unido al porcentaje de relleno provee una óptima resistencia al desgaste y otras propiedades mecánicas adecuadas. Sin embargo, estas resinas son difíciles de pulir y el brillo superficial se pierde con rapidez ³¹.

VI. Resinas de Nanorelleno

Este tipo de resinas son de un desarrollo reciente, contienen partículas con tamaños menores a 10 nm (0.01 μm), este relleno se dispone de forma individual o agrupados en "nanoclusters" o nanoagregados de aproximadamente 75nm³¹. El uso de la nanotecnología en las resinas compuestas ofrecen alta translucidez, pulido superior, similar a las resinas de microrelleno pero manteniendo propiedades físicas y resistencia al desgaste equivalente a las resinas híbridas. Por estas razones, tienen aplicaciones tanto en el sector anterior como en el posterior. ^{32,33}

B. Viscosidad

Los materiales resinosos pueden clasificarse de acuerdo a su grado de fluidez/viscosidad.³⁴

I. Muy baja viscosidad

Aquellos productos que se presentan comercialmente exhibiendo una alta fluidez: las resinas para caracterizaciones, los selladores de resinas compuestas, las resinas compuestas fluidos, los selladores de fosas y fisuras³⁴.

II. Baja viscosidad

Las resinas compuestas de micropartículas son materiales de baja viscosidad, cuya producción ha sido discontinuada³⁴.

III. Mediana viscosidad

Pertenecen a este grupo las resinas compuestas híbridos, microhíbridos, nanohíbridos y nanoparticulados³⁴.

IV. Alta y muy alta viscosidad

Las resinas condensables pueden a su vez ser categorizadas en dos grupos (las de baja y las de alta densidad / alta y muy alta viscosidad, respectivamente). Tales así que existen materiales dentro de esta categoría que son densos³⁴.

3.2.1.3 Propiedades de las resinas compuestas

A. Resistencia a la abrasión.

Es la capacidad que poseen las resinas compuestas de oponerse a la pérdida superficial, como consecuencia del roce con la estructura dental, el bolo alimenticio o elementos tales como cerdas de cepillos. Esto no tiene un efecto perjudicial inmediato, pero lleva a la pérdida de la forma anatómica de las restauraciones disminuyendo la longevidad de las mismas ³⁴. La abrasibilidad de un material guarda relación con el módulo de resiliencia del mismo. El módulo de resiliencia es la cantidad máxima de energía que un material puede absorber sin sufrir una deformación permanente, y mediante su cálculo se puede predecir el grado de abrasión de un material durante la masticación; cuanto mayor sea este módulo, mayor será la abrasibilidad del material.⁸

Esta propiedad depende principalmente de las características físicas del relleno, así como de la localización de la restauración en la arcada dental y las relaciones de contacto oclusales ³⁶. Cuanto mayor sea el porcentaje de relleno, menor el tamaño y mayor la dureza de sus partículas, la resina tendrá menor abrasibilidad.³⁶

Leinfelder y col.(29) fueron los primeros autores en explicar el origen del desgaste a partir de la aparición de microfracturas se producen durante la masticación debido al menor módulo de elasticidad de la resina respecto a las partículas de relleno, las partículas son resistentes al desgaste y comprimen la matriz durante la masticación y provocan estas microfracturas. Durante la carga cíclica estas grietas crecen y confluyen, con lo que ocasionan desprendimiento de partículas de

relleno de la superficie del material. Este fenómeno es conocido como "plucking out".³⁷

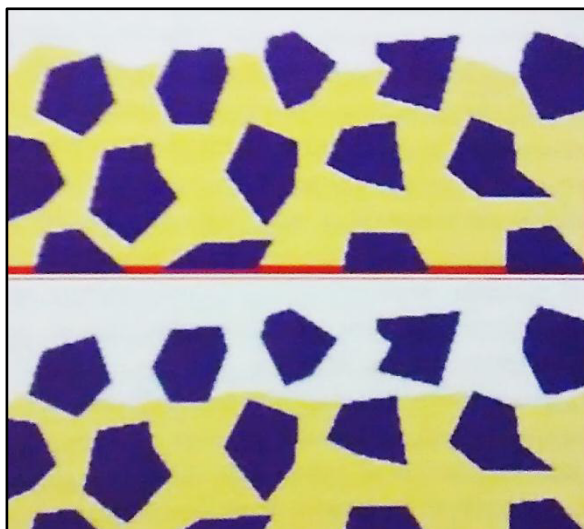


IMAGEN N° 4: Mecanismo de desgaste "Plucking Out"

El desgaste de la superficie de las resinas compuestas representa uno de los puntos débiles de éste tipo de materiales. Éste fenómeno aumenta considerablemente con la dimensión de la restauración, aunque algunas situaciones clínicas son capaces de acelerar el proceso, tales como la oclusión traumática y la calidad de la manipulación y terminado de la restauración²².

B. Contracción de polimerización

Como consecuencia de la polimerización, los sistemas de resina se contraen, fundamentalmente por la formación de una red macromolecular⁸. Las moléculas de la matriz de una resina compuesta (monómeros) se encuentran separadas antes de polimerizar por una distancia promedio de 0,3-4 nm. (Distancia de unión secundaria), al polimerizar y establecer uniones covalentes entre sí, esa distancia se reduce a 0,15 nm (distancia de unión covalente). Ese "acercamiento" o

reordenamiento espacial de los monómeros (polímeros) provoca la reducción volumétrica del material.³⁸

B.1 Proporción de la fase matriz en el sistema

Esta contracción no es de la misma magnitud en todos los sistemas. La cantidad de contracción que se produce en un sistema de composite tras la polimerización de la matriz varía entre un 0,5% y un 5%, dependiendo en primer lugar, del porcentaje relativo de fase matriz que el sistema incorpora.³⁹

Como la polimerización se produce en la fase matriz, los sistemas con más carga, con más cantidad de relleno y por tanto menos matriz presentarán cambios volumétricos menores. Así, una resina acrílica sin carga presenta una contracción del 15%, una resina acrílica que incorpore partículas prepolimerizadas tiene unos valores de contracción que descienden hasta un 5%, el composite de macrorrelleno entre 2,1% y el 1,2%, el de microrrelleno entre un 4,5% y un 2% y los composites híbridos entre el 3,6% y el 1,2%⁸, estas diferencias en la contracción de polimerización se deben principalmente a la cantidad y el tipo de relleno.⁸

Es muy importante, por tanto, conocer la contracción de cada uno de los composites que se utilizan en la clínica ya que dependiendo de su mayor o menor contracción se requerirán técnicas operatorias y de preparación cavitaria diferentes. Si se tiene opción a elegir, se utilizarán aquellos composites que posean mayores porcentajes de carga para aminorar esta desadaptación⁸.

B.2 Coeficiente de transmisión de la luz.

La gran ventaja de las resinas fotopolimerizables es el prolongado tiempo de trabajo, sin embargo, la limitada profundidad de fotopolimerización representa el mayor problema clínico. La presencia de una capa de resina sin polimerizar en la restauración puede reducir las propiedades mecánicas del material e inducir cierto daño pulpar. La intensidad de luz, determina, por tanto, el grado de conversión de los composites y con ellos sus propiedades mecánicas; si la luz no llega en suficiente intensidad a un determinado nivel de la masa de composite éste no polimerizará adecuadamente, y no desarrollará sus propiedades

⁸.

La intensidad de luz que llega a un determinado punto de composite estará condicionada por la intensidad de luz inicial, la distancia del foco a la superficie de composite, el espesor de la capa de composite que se esté polimerizando y del coeficiente de transmisión de la luz del material de resina que se utilice. El uso de pequeños grosores de composite asegura una adecuada penetrabilidad de la luz, que es la que va a iniciar la reacción de fraguado. Las capas de composite no deben, por lo tanto, superar los 2mm de grosor, la distancia del foco al composite debe ser lo menor posible y el tiempo de exposición superior a los 20 segundos⁴⁰.

La luz visible útil para iniciar la reacción de polimerización, se encuentra situada en el espectro electromagnético entre los 400 y 500 nm, y para que sea eficaz requiere una densidad de potencia de al menos 300 mW/cm². Se ha puesto de manifiesto que existe una clara correlación

entre el coeficiente de transmisión de la luz y la profundidad de polimerización de los composites ⁸.

Otro factor a tener en cuenta es el tipo de partícula de relleno. Las partículas de relleno de composite actúan como una interferencia y producen dispersión de la luz que incide sobre ellas. Esta dispersión es máxima cuando el tamaño de la partícula mide la mitad de la longitud de onda de la luz que incide, como trabajamos con luces entre los 450 y 500 nm, ese tamaño de partícula que haría máxima la dispersión sería de aproximadamente 0,25 μm . Esta dispersión de luz disminuirá el coeficiente de penetrabilidad y por tanto la profundidad de curado⁴⁰.

B.3 Grado de conversión

Se define como la extensión en que los monómeros pasan a polímero e indica el porcentaje de enlaces simples que se han convertido en enlaces dobles además indica la cantidad de monómeros de la resina que han reaccionado formando polímeros. El grado de conversión de las resinas dentales actuales oscila entre el 35 y el 80% ²².

La conversión incompleta aporta a la resina cierta elasticidad, propiedad que puede beneficiarnos ya que reduce las tensiones generadas en la interfase adhesivo–diente. Un mayor grado de conversión confiere a las resinas mejores propiedades mecánicas, pero con el inconveniente de una mayor contracción de polimerización⁴¹. Ferracane y colaboradores determinaron que el grado de conversión óptimo para que el comportamiento de una resina dental sea adecuado es del 55%⁴¹. La presencia de monómeros sin reaccionar o de radicales activos tiene un efecto reblandecedor del polímero, por lo que se puede establecer una

relación entre el grado de conversión de los monómeros y las propiedades físicas del composite.⁴

C. Rugosidad Superficial.

El término de rugosidad superficial se refiere a la uniformidad de la superficie del material de restauración. En las resinas compuestas, esta propiedad está relacionada en primer lugar con el tipo, tamaño y cantidad de las partículas de relleno y en segundo lugar con la técnica de acabado y pulido ²².

La rugosidad superficial es menor cuanto menor es el tamaño de partícula de relleno; los híbridos submicrónicos altamente cargados (con homogeneización en el tamaño medio de partícula) tienen una capacidad de pulido equiparable a la de los de microrrelleno, y por tener mayor porcentaje de relleno el pulido de su superficie es más duradero. En términos generales puede decirse que la capacidad de pulido se relaciona más con el tamaño medio de partícula y con el porcentaje de relleno del material que con la distribución del mismo ⁸. Una resina rugosa favorece la acumulación de placa bacteriana y puede ser un irritante mecánico especialmente en zonas próximas a los tejidos gingivales. En la fase de pulido de las restauraciones se logra una menor energía superficial, evitando la adhesión de placa bacteriana, se elimina la capa inhibida y de esta forma se prolonga en el tiempo la restauración de resina compuesta²².

D. Coeficiente de Expansión Térmica.

Es la velocidad de cambio dimensional por unidad de cambio de temperatura. Cuanto más se aproxime el coeficiente de expansión

térmica de la resina al coeficiente de expansión térmica de los tejidos dentarios, habrá menos probabilidades de formación de brechas marginales entre el diente y la restauración, al cambiar la temperatura. Un bajo coeficiente de expansión térmica está asociado a una mejor adaptación marginal²².

Las resinas compuestas tienen un coeficiente de expansión térmica unas tres veces mayor que la estructura dental, lo cual es significativo, ya que, las restauraciones pueden estar sometidas a temperaturas que van desde los 0° C hasta los 60° C²².

E. Sorción Acuosa y Expansión Higroscópica.

La matriz de resina absorbe agua (0,2 a 2 mg/cm²) cuando se encuentra en un medio húmedo; esta absorción de agua es promovida por los dos grupos hidroxilo que posee el BisGMA, provocando una expansión volumétrica que se conoce como expansión higroscópica, la cual se traduce en una expansión lineal de 0,02-0,6%⁸.

La incorporación de agua en la resina, puede causar solubilidad de la matriz afectando negativamente las propiedades de la resina, éste fenómeno es conocido como degradación hidrolítica. Dado que la sorción es una propiedad de la fase orgánica, a mayor porcentaje de relleno, menor será la sorción de agua²².

La absorción es también favorecida por las porosidades y las fisuras. El fenómeno de imbibición implica también una expansión volumétrica del material que podría compensar parcialmente la contracción por polimerización²².

F. Resistencia a la Fractura.

Esta es una propiedad que se pone a prueba durante la masticación, ya que durante éste acto la resina se ve sometida, en las caras oclusales, a fuerzas que oscilan entre los 25 y los 75 paN/cm². Las resinas compuestas presentan diferentes resistencias a la fractura y va a depender de la cantidad de relleno, las resinas compuestas de alta viscosidad tienen alta resistencia a la fractura debido a que absorben y distribuyen mejor el impacto de las fuerzas de masticación²².

G. Resistencia a la Compresión y a la Tracción.

La fuerza de tracción es aquella que tiende a alargar la longitud de un cuerpo; la fuerza de compresión es aquella que tiende a acortar la longitud de dicho cuerpo. Los módulos de resistencia a la compresión y a la tracción se consideran similares a los de la dentina. Las resistencias a la compresión y a la tracción son muy similares a la dentina. Está relacionada con el tamaño y porcentaje de las partículas de relleno: a mayor tamaño y porcentaje de las partículas de relleno, mayor resistencia a la compresión y a la tracción.⁴³

H. Módulo de elasticidad

El módulo de elasticidad o módulo de Young se define como la proporción existente entre la tensión a que se somete el material y la deformación reversible o elástica que éste sufre ⁴³. Un material con un módulo de elasticidad elevado será más rígido; en cambio un material que tenga un módulo de elasticidad más bajo es más flexible. En las resinas compuestas esta propiedad igualmente se relaciona con el

tamaño y porcentaje de las partículas de relleno: A mayor tamaño y porcentaje de las partículas de relleno, mayor módulo elástico⁴².

I. Estabilidad del color.

La estabilidad de color de los composites es importante, ya que son materiales que se utilizan para obturaciones estéticas. Las principales alteraciones que puede sufrir una restauración de resina son ⁴²:

- *Decoloración interna:* Se produce en toda la masa de la resina; principalmente se debe a la oxidación de las aminas terciarias que forman parte de la composición de las resinas de activación química, por lo tanto, no se produce en las resinas fotopolimerizables. Otro tipo de coloración interna es la que ocurre cuando la resina se hidrata ⁴².
- *Decoloración externa:* Está causada por un reblandecimiento del polímero que condiciona que una sustancia colorante pueda difundir en él con mayor facilidad. Este proceso suele producirse más en las resinas que incorporan menor cantidad de relleno y sobre todo cuando el grado de conversión del monómero es bajo ⁴².

J. Radiopacidad.

Los sistemas de resina compuesta poseen diferentes niveles de radiopacidad, la cual se consigue añadiendo metales pesados tales como, bario, estroncio, circonio, zinc, iterbio, itrio y lantano. Un grado de radiopacidad mayor al del esmalte, puede ser útil en el diagnóstico de caries alrededor o debajo de la restauración⁴³.

3.2.2 RESINAS COMPUESTAS USADAS EN EL ESTUDIO

Son resinas compuestas que permiten realizar incrementos de 4 o 5 mm sin alterar sus propiedades físicas, el uso de incrementos más gruesos se debe tanto a la evolución de fotoiniciador y al aumento de su translucidez, la matriz de estas resinas se basa en la modificación del dimetacrilato de uretano (UDMA).⁴⁴

A. Resina compuesta nanohibrida A

Esta resina reduce en gran medida los esfuerzos a la hora de crear restauraciones posteriores. Puede ser colocado en capas de 4 mm, eliminando la necesidad de colocar varias capas que van siendo polimerizadas: colocar, modelar y fotopolimerizar durante 10 segundos (intensidad de luz > 1,000 mW/cm²): Al poder ser aplicado en capas de 4 mm, la resina A ahorra al odontólogo valioso tiempo. Su aplicación, contorneado, modelado y polimerización se realizan hasta un 60% más rápido que con composites convencionales de 2 mm. Normalmente, para modelar y contornear incrementos monolíticos de 4 mm se requiere más tiempo, especialmente si se reconstruyen cúspides.⁴⁴

La resina A contiene un filtro patentado inhibidor de la sensibilidad a la luz operatoria y luz ambiente, que asegura un tiempo de trabajo y modelado superior. El filtro inhibidor de sensibilidad lumínica actúa como un escudo, en cambio, no retrasa la polimerización cuando se inicia con una lámpara de polimerización. La consistencia adecuada y compactable facilita la colocación y el modelado, asegurando una adaptación excepcional a las paredes de la cavidad⁴⁴.

Además gracias a la equilibrada composición del relleno, las restauraciones realizadas son pulidas rápida y fácilmente. Una resina compuesta que vaya a ser utilizado con la técnica bulk de capas de 4 mm ha de tener una baja contracción volumétrica para evitar filtraciones marginales; por ello, se han integrado unos mitigadores de estrés en la composición del relleno. Gracias a su bajo módulo de elasticidad, actúan como muelles microscópicos durante el proceso de polimerización, lo que reduce el estrés de contracción. Esto permite que esta resina otorgue un óptimo sellado marginal. El fotoiniciador patentado, Ivocerin®, incorporado en el sistema fotoiniciador de esta resina, permite que capas de 4mm sean polimerizadas por completo en tan solo 10 segundos ⁴⁴.

El Ivocerin (un compuesto de germanio de dibenzoilo) es un potenciador que proporciona más reactividad a las luces de polimerización que la canforquinona o la lucerina. Además, la translucidez y el color no se ven comprometidas, como suele ocurrir con otras resinas compuestas para la técnica bulk-fill que contienen solo los iniciadores convencionales. El altamente reactivo Ivocerin permite que la translucidez del material se establezca a un nivel del 15%, valor similar al esmalte natural. La matriz monomérica está compuesta por dimetacrilatos (19-21% en peso). El contenido total de relleno inorgánico es 75-77% en peso o 53-55% en volumen⁴⁴.

Los rellenos consisten de vidrio de bario, prepolímero, trifloruro de iterbio y óxido mixto. También contiene aditivos, catalizadores, estabilizadores y pigmentos (<1,0% en peso). El tamaño de partícula del relleno inorgánico oscila entre 0.04 y 3 μm . El tamaño medio de partícula es de 0.6 μm ⁴⁴.

Ventajas:

- La obturación Bulk Fill es posible gracias al ivocerín, el fotoiniciador patentado.
- Tecnología de obturación especial que asegura un nivel muy bajo del estrés de contracción.
- Resultados estéticos que se logran rápida y eficazmente en la región posterior⁴⁴.

Indicaciones:

- Restauraciones de dientes temporales.
- Restauraciones en la región posterior (Clase I y II).
- Restauraciones Clase V (caries cervicales, erosión en la raíz, defectos marginales).
- Resina preventiva en restauraciones molares y premolares⁴⁴.

Presentación⁴⁴:

- Estuche de 5 jeringas (IVA, IVB, y IVW).

B. Resina compuesta nanohibrida B

Es una resina basada en la tecnología de nano optimizada desarrollada para los procedimientos restauradores directos. De aplicación universal indicada para restaurar los dientes en la región anterior y posterior. Su tecnología de relleno nano-optimizado se compone de dimetacrilatos (19 – 20% en peso). Los rellenos contienen vidrio de Bario, trifluoruro de iterbio, óxidos mixtos y copolímeros (80 – 81% en peso). Otros componentes son aditivos,

catalizadores y pigmentos (<1% en peso). El contenido total de rellenos inorgánicos es de 55 –57% en volumen. El tamaño de partículas de los rellenos inorgánicos está entre 40 nm y 3000 nm. Está diseñada para polimerizarse con la exposición de un diodo emisor de luz (LED) con una intensidad $\geq 500 \text{ mW /cm}^2$ durante 20 segundos.⁴⁵

Ventajas:

Rápido

La profundidad de la polimerización de hasta 5 mm permite rellenar en un solo paso cavidades de hasta 5 mm. La adaptación se puede realizar directamente con la punta, rellenando y adaptando sin necesidad de instrumentos de llenado en un solo paso. Menor tiempo de preparación para el auxiliar y menos instrumentos de mano es igual a un menor tiempo de manipulación⁴⁵.

Fiable

Una menor viscosidad de la resina compuesta garantiza una mejor adaptación a las paredes de la cavidad y la activación sónica minimiza la formación de vacío en la resina. Menor contracción de la resina y menor tensión por contracción durante la polimerización⁴⁵.

Fácil

La punta unidosis™ ergonómica pequeña permite acceder con facilidad a la cavidad. El interruptor de pie y las cinco posiciones de dispensación permiten controlar la liberación de la resina. Mejor manipulación: resina consistente sin adherencias con capacidad óptima de esculpido. Colocación sin esfuerzo, máxima adaptación, capacidad de esculpido excelente,

manipulación sencilla, modelado sencillo sin adherencias ya no son necesarias las capas de 2 mm⁴⁵.

Presentación:

Colores A1, A2, A3.

3.2.3 FUENTES DE LUZ PARA FOTOPOLIMERIZACIÓN.

Tanto las resinas como los cementos dentales de fotopolimerización y activación dual presentan en su mayoría a la canforoquinona como elemento fotoiniciador. Esta absorbe energía a un espectro de luz visible entre 400 y 500nm, con un pico ideal de 468nm. En este sentido la fuente de luz debe emitir en una longitud de onda compatible con la de la CQ y en una intensidad adecuada a fin de polimerizar eficientemente el material.⁴⁶

Las distintas fuentes lumínicas varían tanto en el espectro de longitud de onda como en la intensidad de la luz emitida. Y esto incide directamente sobre las propiedades mecánicas de las resinas y la profundidad de la polimerización lograda.⁴⁷

3.2.3.1 Clasificación de las tecnologías para fotopolimerización.

A. Polimerización por Luz Ultravioleta.

Consistía en una unidad para la emisión de luz ultravioleta (365nm) a través de una varilla de cuarzo de una fuente de mercurio a alta presión desarrollada en los años 70. Este significó un salto enorme al implicar polimerización bajo control, que era imposible de obtener con los sistemas de autocurado que existían hasta la fecha. Los tiempos de exposición eran de 20 segundos. Las resinas fotocuradas por este sistema se encontraban basadas en un fotoiniciador en base a compuestos tipo éter benzoínico que

se rompía en múltiples radicales, sin necesitar compuestos intermediarios. Este sistema poseía sin embargo múltiples fallas. Primero por la limitada capacidad de la luz ultravioleta de penetrar el material por lo que este debía colocarse en incrementos pequeños y limitados en profundidad. Además existen antecedentes de posibles efectos nocivos producto de la exposición de tejido ocular a las emisiones de onda corta como quemaduras corneales y formación de cataratas así como también cambios en la microflora oral.⁴⁸

B. Polimerización por luz visible y luz halógena convencional.

El 24 de Febrero de 1976 el Dr. Mohammed Bassoiuny colocó la primera resina dental polimerizada por luz visible en la boca de un colega. La optimización del sistema de iniciación utilizando canforquinona y una amina alifática como coiniador fue clave para el éxito de este sistema que continúa siendo el más utilizado hasta el día de hoy ⁴⁸.

La unidad consistía en una fuente halógena de cuarzo-tungsteno un cristal para la absorción de calor y un filtro lumínico que permitía el paso de luz entre 400 y 550 nm. Este sistema permitió la polimerización de incrementos de hasta 2mm en tiempos de 40 a 60 segundos y la minimización del riesgo de cataratas y alteraciones de la microflora oral ⁴⁸.

La tecnología halógena de cuarzo-tungsteno ha sufrido varios cambios a lo largo del tiempo. La potencia fue aumentada de 35 W hasta 100 W para unidades de mano y hasta 340 W para las unidades de mesa. La intensidad de luz obtenida varió de 400 a 500 mW/cm² a un extremo de 3000 mW/cm². Además de hacerse común un sistema de enfriamiento por medio de un ventilador y una punta Turbo que consistía en un cable de fibra óptica rígido que poseía un menor diámetro en su región distal respecto a la proximal de

modo que la misma cantidad de luz se veía concentrada en una menor área logrando una intensidad hasta 1.6 veces mayor ⁴⁸.

C. Luz de arco de plasma.

Fue desarrollada inicialmente para la visualización de campos operatorios (endoscopia, colonoscopia) La fuente consistía en dos electrodos de tungsteno separados por una pequeña distancia dentro de una cámara llena de gas a alta presión. Al activarse, la corriente eléctrica ioniza el gas y forma un puente (plasma) entre ambos electrodos lo que inicia la emisión de luz. El gas utilizado inicialmente era Argón lo que entregaba una emisión extremadamente alta, por lo que se dijo que exposiciones de menos de un segundo eran suficientes para remplazar la exposición convencional de 40 a 60 segundos para luz halógena. Una unidad típica tenía una potencia de 2000mW/cm² y entregaba luz en un espectro de 380 a 500nm con un pico en torno a los 460nm donde la canforquinona tiene su absorción óptima, con el tiempo fueron capaces de lograr una polimerización adecuada con exposiciones de 10 segundos ⁴⁸.

D. Luz L.E.D.

La tecnología LED se basa en la diferencia entre dos sustratos semiconductores diferentes para determinar la longitud de onda de la luz emitida. Son mucho más eficientes que las fuentes para fotocurado previamente desarrolladas, más ligeras y pueden ser fácilmente alimentados por baterías permitiendo su portabilidad ³.

D.1 L.E.D. de primera generación

Fueron introducidas en el año 2000. En general, el diseño constaba de una lámpara compuesta por múltiples unidades individuales que

funcionaban al unísono, cada chip entregaba 30-60mW ubicados de tal forma que en conjunto lograban la potencia suficiente para activar la CQ. Existían diseños desde 7 a 64 unidades pero aun así, la radiación producida no era equiparable a la de las lámparas halógenas a pesar de que la gran mayoría de la radiación producida por LED se encontraba dentro del rango de longitud de onda para la activación de la CQ. Además, la alimentación se encontraba basada en baterías Ni-Ca que tenían un pobre desempeño ⁴⁸.

D.2 L.E.D. de segunda generación.

Gracias a avances realizados el año 2000 fue posible introducir múltiples diodos en un solo chip. Estos eran elaborados para emitir un la longitud de onda específica para la CQ siendo denominados como LEDs dentales azules. Posteriormente, apareció un nuevo chip de 5W con 600mW de salida lo que entregaba una luminiscencia 10-20 veces mayor a los chips de primera generación. Sin embargo las longitudes de onda emitidas tanto por estas lámparas como por las de primera generación se encontraban fuera del espectro para la activación de foto iniciadores alternativos ⁴⁸.

Recientemente han sido desarrollados nuevos LEDs aún más potentes de 10W (LZ4-00DB10, LedEngin, Inc.) y 15W (LZ4-00CB15, LedEngin, Inc.) capaces de entregar 4.2W y 5.6W de potencia radiante respectivamente. Con el dramático aumento en la potencia de salida de las lámparas LED estas han sido capaces de sobrepasar a las demás fuentes luminosas acortando los tiempos de exposición ⁴⁸.

D.3 LED de tercera generación.

Las lámparas de tercera generación buscaron terminar con la limitación de sus predecesoras en la activación de foto iniciadores alternativos. Para esto las primeras unidades constaban de un chip de 5W rodeado de 4 LEDs violetas de baja potencia (alrededor de los 400 nm). Estas unidades se encuentran normalmente alimentadas por baterías de NiMH o Li-ion y son capaces de activar cualquier tipo de resina gracias a su amplio rango de longitud de onda ⁴⁸.

En la actualidad, las unidades de foto polimerización más populares corresponden a la luz halógena y a las unidades LED. Estas últimas, a partir del desarrollo de LEDs de segunda generación pasaron a competir directamente con las lámparas halógenas convencionales que en la actualidad se encuentran en retirada ya que la tendencia apunta a elegir tecnologías más eficientes ⁴⁸.

3.2.4 PROFUNDIDAD DE POLIMERIZACIÓN

La profundidad de polimerización determina que tan grueso puede ser un cuerpo de resina fotopolimerizable manteniendo al mismo tiempo un nivel de conversión de monómero aceptable (>50%).⁴⁹

La energía de la luz emitida por una unidad de fotopolimerización disminuye drásticamente cuando se transmiten a través de la resina compuesta⁵⁰. Esto conduce a una disminución gradual en el grado de conversión de la resina compuesta al aumentar la distancia desde la superficie irradiada, lo cual compromete las propiedades físicas de la resina compuesta.⁵¹

Los factores afectan a la profundidad de curado incluyen: ⁵²

- El tipo de resina compuesta, sombra y translucidez.
- El espesor del incremento.
- La distancia desde la punta de la unidad de fotocurado.
- Periodo de radiación
- El tamaño y distribución de las partículas de carga

3.2.4.1 Métodos empleados para medir la profundidad de polimerización

A. Profundidad de curado por la norma ISO 4049

La norma internacional emitida por la Organización internacional de estandarización (ISO) que indica los requerimientos mínimos y las formas de prueba estándar de para los materiales compuestos dentales es la norma ISO 4049. En esta son evaluadas varias de las características de estos materiales incluyendo la profundidad de curado para los materiales de foto polimerización⁴⁹.

Para determinarlo, según la norma ISO se utiliza un molde de acero inoxidable de 4 mm de diámetro 3 mm de largo, si el fabricante afirma una profundidad mayor a 3 mm, el molde será al menos 2mm más largo que el doble de la profundidad de polimerización¹.

Se sobrepone una tira transparente con un portaobjetos, sobre esto se coloca el molde de acero y se llena con la resina a probar teniendo cuidado de excluir las burbujas de aire. Colocar una segunda tira de la tira transparente en la parte superior, seguido por el segundo porta objetos. Presionar la lámina portaobjetos para desplazar el exceso de material.

Colocar el molde en el papel filtro, quitar el portaobjetos de la parte superior y colocar suavemente la fuente de fotopolimerización. Irradiar el material durante el tiempo recomendado por el fabricante, inmediatamente después de la finalización de radiación, retirar la muestra del molde y retirar el material no polimerizado con la espátula de plástico. Medir la altura del cilindro de resina polimerizada usando el micrómetro de 0,1mm de precisión y dividir el valor entre dos¹.

B. Profundidad de curado por perfiles de dureza Vickers

La profundidad de curado por perfiles de dureza Vickers se realiza con un molde de acero inoxidable reutilizable, en forma de bloque con una muesca semicircular de 15 mm de longitud y 4 mm de diámetro. Se llena la muesca semicircular completamente el compuesto de resina. Luego, se cubre el molde con una tira transparente y con un portaobjetos de vidrio retirando los excesos de resina. Se coloca la segunda tira transparente en la abertura semicircular y se fotopolimeriza el compuesto de resina a través de la abertura semicircular (superficie superior) durante 10 s o 20 s manteniendo la punta de la unidad de fotopolimerización pegado a la tira transparente. Después de la fotopolimerización, se eliminan las dos tiras transparentes, se coloca el molde de resina en un dispositivo de indentación de microdureza.⁵³

Posteriormente, se hicieron las medidas de dureza (Dureza Vickers, VHN) en los especímenes de resina a distancias definidas, comenzando con la parte que estuvo más cercana a la punta de la fuente de luz (es decir, desde el "top") y avanzando hacia la parte del espécimen sin polimerizar (es decir, hacia el "fondo") hasta que el espécimen de resina no pueda medirse más

debido a su suavidad. Las distancias definidas se incrementan gradualmente cada 0,1 mm empezando de una distancia inicial de 0,1 mm.¹

3.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

Resinas Bulk Fill: Son resinas compuestas que permiten realizar incrementos de 4 o 5 mm sin alterar sus propiedades físicas, el uso de incrementos más gruesos se debe tanto a la evolución de fotoiniciador y al aumento de su translucidez, la matriz de estas resinas se basa en la modificación del dimetacrilato de uretano (UDMA).⁵⁴

Profundidad de polimerización: Es la longitud que puede polimerizarse un material fotopolimerizable manteniendo al mismo tiempo un nivel de conversión de monómero aceptable (>50%)⁴⁹.

Fotoactivación: Es el proceso que inicia la reacción de polimerización de la resina compuesta, cuando se expone a una fuente de luz ultravioleta o halógena gracias a que las resinas presentan en su composición iniciadores fotosensibles de la reacción⁸.

Fotopolimerización: Es una reacción química a través de la cual los monómeros se unen entre sí por medio de enlaces covalentes y forman un polímero de cadenas cruzadas. Un polímero, por tanto, es una molécula larga formada por uniones repetidas de unidades monoméricas.⁵⁵

Lámpara de luz halógena: Es una lámpara con un filamento de tungsteno dentro de un gas inerte y una pequeña cantidad de halógeno (como yodo o bromo). La lámpara halógena tiene un rendimiento un poco mejor que la incandescente (18,22 lm/W) y su vida útil se aumenta hasta las 2.000 y 4.000 horas de funcionamiento⁴⁸.

Lámpara LED (luz emitida por diodos): Se caracteriza principalmente por no utilizar foco, es decir su luz no se emite por el calentamiento de filamentos metálicos, sino por emisión de energía a partir de diodos simétricamente orientados que evidencian una luz azul que varía entre 440 y 490 nm. La única fuente de energía utilizada en las lámparas con tecnología LED es la corriente eléctrica y el proceso es significativamente más eficiente que el usado por las lámparas halógenas⁴⁸.

3.4 HIPÓTESIS

3.4.1 Hipótesis general

- La profundidad de polimerización está determinada por la distancia de fotoactivación.

3.4.2 Hipótesis específicas

- La resina B presenta mayor profundidad de polimerización que la resina A al ser fotoactivada a 0mm de distancia
- La resina B presenta mayor profundidad de polimerización que la resina A al ser fotoactivada a 4mm de distancia

3.5 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Variable		Concepto	Indicador	Escala	Valor
INDEPENDIENTE	Material dental de obturación directa (Resinas Compuestas)	Es un material orgánico, sintético, rígido e indeformable constituido por una matriz orgánica y un relleno inorgánico.	Resina compuesta nanohibrida.	Nominal	<ul style="list-style-type: none"> • Resina A. • Resina B.
	Distancia desde la unidad de fotoactivación	Espacio que separa la superficie a polimerizar desde la fuente de luz.	Longitud de espacio entre la fuente de luz y la resina, medido en milímetros	Razón	* 0 mm * 4 mm
DEPENDIENTE	Profundidad de polimerización	Cantidad de resina que polimeriza, medida desde la superficie irradiada hacia el interior.	Longitud de resina polimerizada, medida en milímetros	Razón	0mm a 5mm.

IV. METODOLOGÍA

4.1 Tipo de Investigación

El presente estudio es de tipo **experimental**, ya que se manipularon las variables para determinar el efecto posterior. De corte **transversal** debido a que los datos fueron tomados en un solo momento.

4.2 Muestra

La muestra se determinó de acuerdo a los antecedentes, por ello la muestra de la investigación estuvo conformada por 36 bloques cilíndricos los cuales fueron distribuidos en: 12 bloques cilíndricos de resina A, 12 bloques cilíndricos de resina B y 12 bloques de resina control. Todos los bloques de resina tuvieron 4mm de diámetro. Cada tipo de resina fue distribuida en 2 grupos con 6 bloques por grupo. ^{1,6}

4.3 Procedimientos y Técnicas

Para evaluar la profundidad de polimerización se siguió el procedimiento de la norma ISO 4049.

4.3.1 Confección de los moldes donde se elaboraron los bloques de resina

Según la norma ISO 4049, la altura del molde donde se coloca la resina debe ser 2mm mayor que el doble de la profundidad afirmada por el fabricante; por lo tanto, las alturas preliminares fueron: 10mm para la resina A (Tetric Evoceram® BulkFill IV), 12mm para la resina B (SonicFill™ A3) y 6mm para la resina control (Tetric Evoceram A3). Estas alturas fueron definidas con una prueba piloto, mediante la cual se obtuvieron las siguientes profundidades de polimerización: 3.8

mm para la resina A fotopolimerizada a 0mm de distancia; 3.4mm para la resina A fotopolimerizada a 4mm de distancia; 3.5mm para la resina B fotopolimerizada a 0mm de distancia; 2.9 mm para la resina B fotopolimerizada a 4mm de distancia; 2.4 para la resina control fotopolimerizada a 0mm de distancia y 2.3 para la resina control fotopolimerizada a 4mm de distancia. Por lo tanto la altura definitiva de los moldes para cada grupo fue: 10mm para el grupo de la resina A fotopolimerizado a 0mm de distancia, 9mm para el grupo de la resina A fotopolimerizado a 4mm de distancia, 9mm para el grupo de la resina B fotopolimerizado a 0mm de distancia, 8mm para la resina B fotopolimerizado a 4mm de distancia, 7 mm para ambos grupos de la resina control fotopolimerizados a 0mm y 4mm de distancia.

Los moldes donde se colocó la resina, fueron preparados con tubos de polietileno, tubitos de polietileno de 4mm de diámetro, todos los tubos se cortaron de acuerdo a la altura hallada para cada grupo en la prueba piloto. Para la elaboración de los moldes, se colocó el tubo de polietileno sobre una platina de vidrio; dentro del tubo de polietileno que sirvió de soporte, se empacó silicona de condensación; inmediatamente se introdujo al centro de la silicona de condensación el segundo tubito de 4mm de diámetro; posteriormente se colocó una platina portaobjetos y se presionó para quitar los excesos y uniformizar la superficie. Se esperó que la silicona condense y se extrajo el tubo interno de 4mm de diámetro.

4.3.2 Confección de las muestras de resina

La temperatura del ambiente de trabajo se registró con un termómetro ambiental, obteniendo una variación de 22 ° C a 23 °C durante la elaboración de las probetas.

La preparación de las muestras de resina se realizó en una sesión: ambos grupos en horario diurno (9:00 am a 2:00pm), con iluminación artificial.

Se elaboraron 36 muestras distribuidas de la siguiente manera:

- | | |
|---------------|--|
| Grupo A1 | : 6 muestras de resina A fotopolimerizadas a 0mm de distancia. |
| Grupo A2 | : 6 muestras de resina A fotopolimerizadas a 4mm de distancia. |
| Grupo B1 | : 6 muestras de resina B fotopolimerizadas a 0mm de distancia. |
| Grupo B2 | : 6 muestras de resina B fotopolimerizadas a 4mm de distancia. |
| Grupo control | : 6 muestras de resina control fotopolimerizadas a 0mm de distancia. |
| Grupo control | : 6 muestras de resina control fotopolimerizadas a 4mm de distancia. |

Para fotopolimerizar las muestras, se utilizó una lámpara L.E.D de marca Woodpecker L.E.D F de 1600 mW/cm² de intensidad, antes de iniciar la preparación de la muestra se midió la intensidad

lumínica de la lámpara con un radiómetro y se registró la intensidad promedio (10 mediciones) obteniendo el valor de 1600 mW/cm².

El tiempo de polimerización de las resinas compuestas se estableció siguiendo las instrucciones del fabricante (10 s para intensidad de luz ≥ 1200 mW/cm²).

Para elaborar la muestra de resina, se colocó una cinta celuloide sobre una platina portaobjetos, sobre esto se colocó el molde de silicona y se llenó con la resina a probar teniendo cuidado de excluir las burbujas de aire. Para colocar la resina A se utilizó una espátula de resina; en el caso de la resina B viene en puntas monodosis, esta punta se insertó en la cavidad del molde utilizando una pieza de mano sónica, después de colocar la punta en la cavidad se activó la pieza de mano y se llenó el molde en segundos.

Después de llenar el molde sobrepuso una segunda cinta celuloide en la parte superior, seguido por el segundo porta objetos. Se presionó la lámina portaobjetos para desplazar el exceso de material, seguidamente se retiró el portaobjetos de la parte superior y se colocó suavemente la fuente de fotopolimerización.

Se irradió el material durante 10 segundos. Para fotopolimerizar a 0mm de distancia, se colocó la punta de la lámpara LED pegada a la superficie superior del molde; para fotopolimerizar a 4 mm de distancia, se utilizó un dispositivo que permitió separar la muestra de resina de la fuente de luz durante la polimerización.

4.3.3 Medición de la profundidad de polimerización

Inmediatamente después de la finalización de radiación, se extrajo la muestra del molde y con la espátula de plástico se retiró el material no polimerizado. Se midió la altura del cilindro de resina polimerizada (altura absoluta) usando el micrómetro de 0,01mm de precisión, se dividió entre 2 y se registró como la profundidad de polimerización de la resina.

4.4 PROCESAMIENTO DE DATOS

Los valores obtenidos de la lectura del micrómetro se registraron en una ficha de recolección, estos valores se registraron como longitud absoluta, después cada longitud absoluta se dividió entre 2 y se obtuvo la profundidad de polimerización de cada muestra (ver anexo N°1).

4.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los datos fueron procesados mediante el programa estadístico SPSS 23; se realizó la prueba de normalidad de Shapiro Wilk para ver la distribución de los datos (ver anexo N°5), obteniéndose una distribución normal en todos los grupos ($p > 0,05$); para determinar la homogeneidad entre cada grupo de estudio se utilizó la prueba de Levene (ver anexos N°7, N°8 y N°9), donde se observó que los grupos son homogéneos ($p > 0,05$). Se observaron los siguientes promedios de profundidad de polimerización: resina A fotoactivada a 0mm de distancia 3.930 ± 0.067 , resina A fotoactivada a 4mm de distancia 3.375 ± 0.116 , resina B fotoactivada a 0mm de distancia 3.260 ± 0.1125 , resina B fotoactivada a 4mm de distancia 2.987 ± 0.1561 (ver Tabla N°1). Se aplicó la prueba estadística de T de Student para Muestras Independientes mediante el cual se compararon 2

grupos con diferentes distancias de fotoactivación del mismo tipo de resina: al comparar la profundidad de polimerización de la resina A fotoactivada a 0mm de distancia y la resina A fotoactivada a 4mm de distancia, se observó que la resina A fotoactivada a 0mm de distancia presenta una mayor profundidad de polimerización (ver Tabla N°2), además existe una diferencia significativa entre la profundidades de polimerización de ambos grupos (ver anexo N°7); al comparar la profundidad de polimerización de la resina B fotoactivada a 0mm de distancia y la resina B fotoactivada a 4mm de distancia, se observó que la resina B fotoactivada a 0mm de distancia presenta una mayor profundidad (ver Tabla N°3) de polimerización, además existe una diferencia significativa entre las profundidades de polimerización de ambos grupos (ver anexo N°8). También se aplicó la prueba estadística ANOVA y la prueba estadística Post Hoc de Tukey (ver anexos N°11 y N°12) para comparar 3 grupos de diferentes tipos de resina que presentan la misma distancia de fotoactivación: al comparar la profundidad de polimerización de la resina A, la resina B y la resina control fotoactivadas a 0mm de distancia, se observó que la resina A presenta mayor profundidad de polimerización (ver Tabla N°4), además existe una diferencia significativa de las profundidades de polimerización de los grupos (ver anexo N°10); al comparar la profundidad de polimerización de la resina A, la resina B y la resina control fotoactivadas a 4mm de distancia, se observó que la resina A presenta mayor profundidad de polimerización (ver Tabla N°5), además existe una diferencia significativa de las profundidades de polimerización de los grupos (ver anexo N°11).

V. RESULTADOS

Tabla N° 1: Profundidad de polimerización de las resinas fotoactivadas a 0mm y 4mm.

	N	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Resina A 0mm	6	3.930	.0679	3.860	4.010
Resina A 4mm	6	3.375	.1162	3.190	3.550
Resina B 0mm	6	3.260	.1125	3.100	3.390
Resina B 4mm	6	2.987	.1561	2.720	3.150
Resina control 0mm	6	2.528	.0947	2.410	2.635
Resina control 4mm	6	2.163	.0507	2.110	2.220
Total	36				

El grupo de la resina A fotoactivada a 0mm de distancia presentó mayor profundidad de polimerización que todos los grupos y el grupo de la resina control fotoactivada a 4mm de distancia presentó menor profundidad de polimerización que los demás grupos.

Gráfico N° 1: Promedio de la profundidad de polimerización de las resinas fotoactivadas a 0mm y a 4mm de distancia.

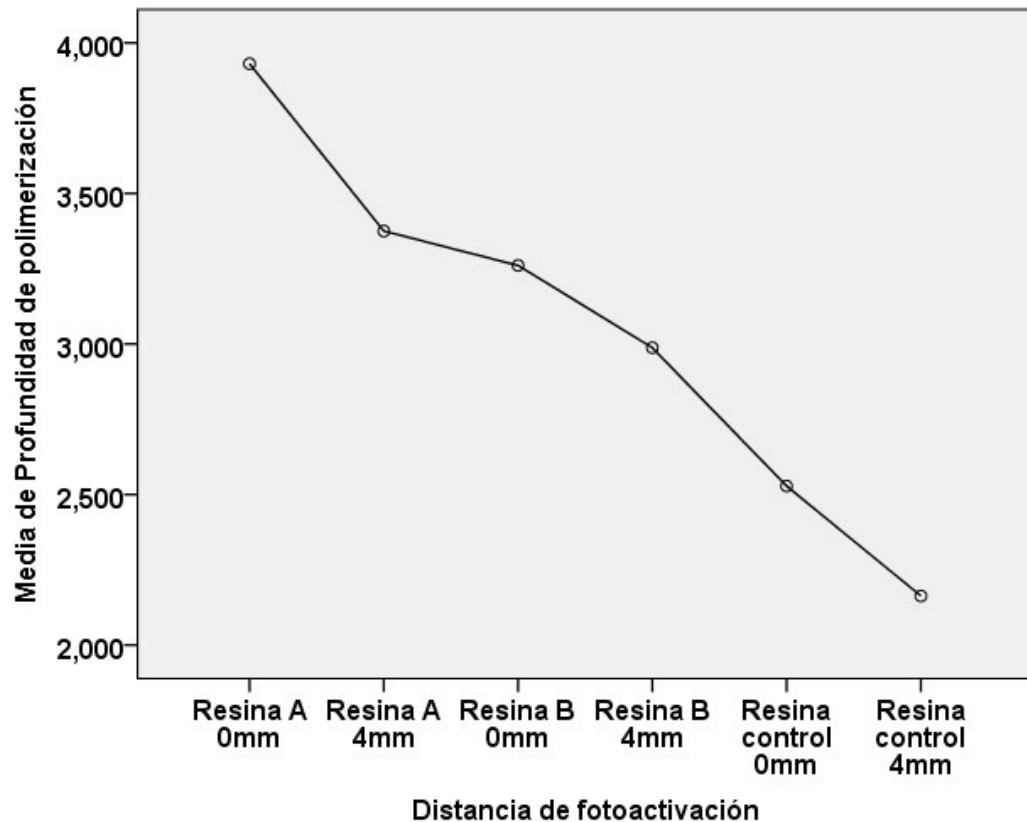


Tabla N° 2: Profundidad de polimerización de la resina A fotoactivada a 0mm y 4mm de distancia.

Distancia de fotoactivación	N	Media	Desviación estándar
Resina A 0mm	6	3,93083	,067928
Resina A 4mm	6	3,37500	,116233

Se trabajó con un nivel de confianza de 0,01, se utilizó la prueba estadística T-Student para Muestras Independientes (ver anexo N°7), el grupo de la Resina A fotoactivada a 0mm de distancia presentó mayor profundidad de polimerización que el grupo de la Resina A fotoactivada a 4mm, presentando diferencias estadísticamente significativas ($p=0,000001$ y $t= 10,113260$).

Tabla N° 3: Profundidad de polimerización de la resina B fotoactivada a 0mm y 4mm de distancia.

Distancia de fotoactivación	N	Media	Desviación estándar
Resina B 0mm	6	3,26083	,112535
Resina B 4mm	6	2,98750	,156101

Se trabajó con un nivel de confianza de 0,01, se utilizó la prueba estadística T-Student para Muestras Independientes (ver anexo N°8); el grupo de la Resina B fotoactivada a 0mm de distancia presentó mayor profundidad de polimerización que el grupo de la Resina B fotoactivada a 4mm, presentando diferencias estadísticamente significativas ($p= 0,005929$ y $t= 3,479218$).

Tabla N°4: Profundidad de polimerización de la resina control fotoactivada a 0mm y 4mm de distancia.

Distancia de fotoactivación	N	Media	Desviación estándar
Resina control 0mm	6	2,52833	,094745
Resina control 4mm	6	2,16333	,050761

Se trabajó con un nivel de confianza de 0,01, se utilizó la prueba estadística T-Student para Muestras Independientes (ver anexo N°9), el grupo de la Resina control fotoactivada a 0mm de distancia presentó mayor profundidad de polimerización que el grupo de la Resina control fotoactivada a 4mm, presentando diferencias estadísticamente significativas ($p=0,000008$ y $t=8,317922$).

Tabla N° 5: Profundidad de polimerización de las resinas fotoactivadas a 0mm de distancia.

	N	Media	Desviación estándar	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
				Límite inferior	Límite superior		
Resina A 0mm	6	3,93083	,067928	3,85955	4,00212	3,860	4,010
Resina B 0mm	6	3,26083	,112535	3,14273	3,37893	3,100	3,390
Resina control 0mm	6	2,52833	,094745	2,42890	2,62776	2,410	2,635

Se trabajó con un nivel de confianza de 0.01, se utilizó la prueba estadística ANOVA (ver anexo N°10), se observó que existen diferencias estadísticamente significativas ($p=0.00000$ y $F= 337,360027$), el grupo de la Resina A fotoactivada a 0mm de distancia presentó mayor profundidad de polimerización.

Gráfico N° 2: Profundidad de polimerización de las resinas fotoactivadas a 0m de distancia.

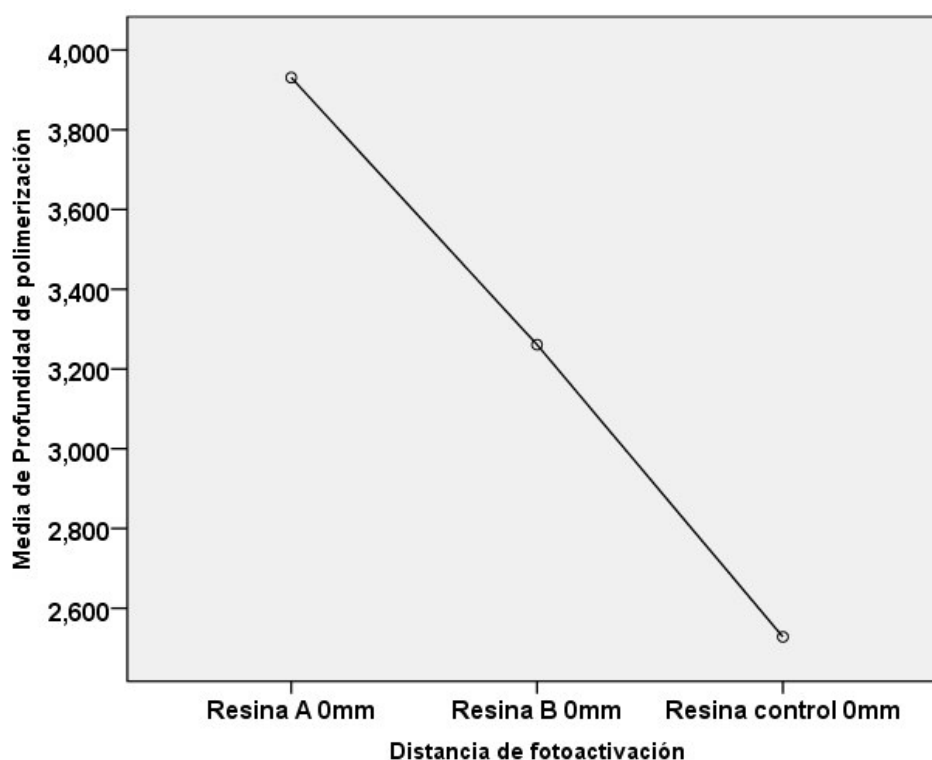
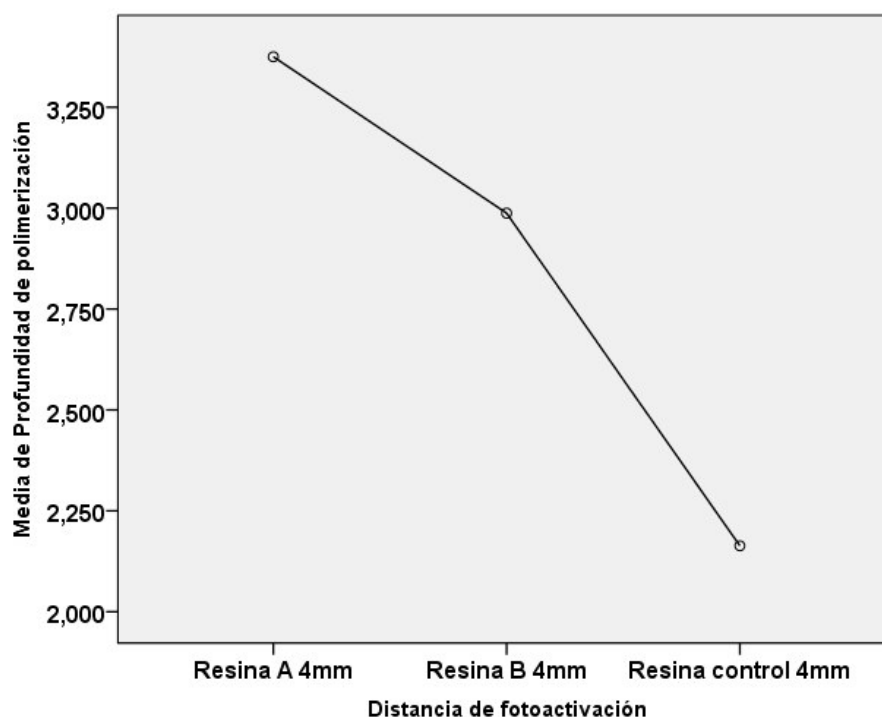


Tabla N° 6: Profundidad de polimerización de las resinas fotoactivadas a 4mm de distancia.

	N	Media	Desviación estándar	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
				Límite inferior	Límite superior		
Resina A 4mm	6	3,37500	,116233	3,25302	3,49698	3,190	3,550
Resina B 4mm	6	2,98750	,156101	2,82368	3,15132	2,720	3,150
Resina control 4mm	6	2,16333	,050761	2,11006	2,21660	2,110	2,220

Se trabajó con un nivel de confianza de 0,01, se utilizó la prueba estadística ANOVA (ver anexo N°11), se observó que existen diferencias estadísticamente significativas ($p=0.0000$ y $F= 170,381193$), el grupo de la Resina A fotoactivada a 4mm de distancia presentó mayor profundidad de polimerización.

Gráfico N° 3: Profundidad de polimerización de las resinas fotoactivadas a 4mm de distancia.



VII. DISCUSIÓN

Las resinas compuestas son ampliamente utilizadas en odontología, por ello se han presentado numerosos estudios que han aportado al desarrollo de diferentes tipos de resinas compuestas, convirtiéndose éste, en uno de los principales objetos de estudio en materiales dentales, intentando día a día mejorar sus características físicas, tanto estéticas como mecánicas. Las resinas compuestas son una buena respuesta para la necesidad operatoria estética de los pacientes en la actualidad, pero su adecuado uso en el sector posterior implica adecuadas propiedades mecánicas.

Este estudio tuvo como objetivo determinar la profundidad de polimerización de las resinas “bulk fill” al ser fotoactivadas a diferentes distancias. La fase experimental de la metodología se evaluó mediante el método ISO 4049 establecidas para materiales poliméricos, ya que es importante estandarizar cada paso para que sean más relevantes los resultados obtenidos, los datos obtenidos por el micrómetro se dividieron entre dos y se registraron como la profundidad de polimerización de cada muestra.

El análisis estadístico se realizó con un nivel de significancia de 0,01 para todas las pruebas estadísticas. En los resultados obtenidos de la presente investigación se observó que los valores de la profundidad de polimerización de la resina A fueron significativamente mayores ($p < 0,01$) que los valores de profundidad de polimerización de la resina B en las dos distancias de fotoactivación a las que fueron sometidas; además, al comparar las profundidades de polimerización entre dos grupos del mismo tipo de resina fotoactivados a 0mm de distancia y a 4mm de distancia, se observó que la profundidad de polimerización fue significativamente mayor ($p < 0,01$) para los grupos que fueron fotoactivados a 0mm de distancia en todos los tipos de resina.

Al revisar estudios anteriores reportados con respecto a la profundidad de polimerización, se encontró que sólo existen estudios que evalúan la profundidad de polimerización de las resinas al ser fotoactivadas a 0mm de distancia.

En 2015 Benetti evaluó la profundidad de polimerización de las resinas “bulk fill”, dentro de las cuales se encontraban las resinas A y B, encontrando que los valores de profundidad de polimerización en la resina A (3.82mm) fueron significativamente mayores que las de la resina B (3.43mm), estos resultados similares con los resultados obtenidos del presente estudio; ellos atribuyeron este resultado a que la resina A presenta un fotoiniciador (IvocerinTM, un compuesto de germanio de dibenzoilo) distinto al de los demás el cual absorbe la longitud de onda de la luz en una gama más amplia 370-460 nm.⁴

En 2014 Jang realizó un estudio experimental para evaluar la contracción de polimerización y la profundidad de polimerización de las resinas “bulk fill”, dentro de las cuales evaluó la profundidad de polimerización de la resina A, determinó que la profundidad de polimerización de la resina A fue de 4mm, estos resultados son similares a los resultados obtenidos en el presente estudio donde la profundidad de polimerización de la resina A a 0mm de fotoactivación fue de 3.93 ± 0.06 mm.

En 2013 Alrahlah evaluó la profundidad de polimerización de las resinas “bulk fill” dentro de las cuales se encontraban la resina A y la resina B, encontró que la profundidad de polimerización de la resina A (4.47mm) fue menor a la profundidad de polimerización de la resina B (5.03mm); estos resultados no coinciden con los resultados obtenidos en el presente estudio donde se encontró que la profundidad de polimerización de la resina A (3.93

$\pm 0.06\text{mm}$) fue mayor a la profundidad de polimerización de la resina B ($3.26 \pm 0.11\text{mm}$), ellos determinaron que estos resultados se deben a que la resina B tiene la mayor cantidad de partículas de carga en comparación con otros materiales, explicaron que la resina B presenta una carga de relleno inorgánico (83,5% en peso) mientras que la resina A presenta una carga de relleno inorgánico de (75% en peso)..

En 2012 Flury evaluó la profundidad de polimerización de las resinas “bulk fill” utilizando el método ISO 4049 y el método de indentación de los vickers, dentro de las resinas estudiadas se encontraba la resina A, encontró que la resina A presentó una profundidad de polimerización de 3.83mm, lo cual coincide con los resultados obtenidos en este trabajo donde la profundidad de polimerización de la resina A fue de $3.93 \pm 0.06\text{mm}$.

En 2012 Caro realizó un estudio comparativo de la profundidad de polimerización de resinas compuestas polimerizadas por luz L.E.D versus luz halógena, la fase experimental se basó en la norma ISO 4049, concluyó que es posible lograr profundidades de polimerización adecuados tanto con luz LED de segunda generación como con una unidad halógena convencional al polimerizar resina fluida a través de cuerpos de resina indirecta de hasta 3mm por 40 segundos, sin embargo estos valores resultan insuficientes al aumentar el espesor de la resina indirecta a 4mm; por ello es importante tener en cuenta la importancia de la fuente de luz.

En el 2005 Varanes realizó un estudio donde evaluó la profundidad de polimerización, el módulo de compresión y la resistencia a la compresión diametral de composites dentales fotopolimerizables, dentro de estas resinas se encontraba la resina control de nuestro estudio; la determinación de la profundidad de polimerización se realizó según la norma ISO 4049; en los

resultados se observó que la profundidad de polimerización de la resina control fue de 2.49 ± 0.03 mm, estos resultados son similares a los resultados obtenidos en el presente estudio donde la profundidad de polimerización de la resina control fue de 2.52 ± 0.09 mm.⁵

VIII. CONCLUSIONES

- ✓ La profundidad de polimerización de la resina A y B está determinada por la distancia de fotoactivación
- ✓ La resina A presentó mayor profundidad que la resina B al ser fotoactivada a 0mm de distancia.
- ✓ La resina A presentó mayor profundidad que la resina B al ser fotoactivada a 4mm de distancia.

IX. RECOMENDACIONES

- ✓ Se recomienda realizar estudios sobre la profundidad de polimerización de resinas “bulk fill” utilizando más distancias de fotoactivación.
- ✓ Se recomienda realizar estudios comparativos de la profundidad de polimerización de resinas “bulk fill” polimerizadas con luz L.E.D y Luz Halógena.

X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Flury S. Depth of cure of resin composites: is the ISO 4049 method suitable for bulk fill materials? Dent Mater. [Internet]. 2012 [May]; 28(5): 521–528.
2. Alrahlah A. Post-cure depth of cure of bulk fill dental resin-composites. Dent Mater. [Internet]. 2014 [Feb]; 30(2):149-54.
3. Caro M. Estudio comparativo in vitro de la profundidad de polimerización de resinas compuestas fluidas polimerizadas por luz L.E.D. versus luz halógena, a través de resinas compuestas previamente endurecidas [Internet]. Santiago, Chile: Universidad de Chile - Facultad de Odontología; 2012.
4. Benetti A. Bulk-Fill Resin Composites: Polymerization Contraction, Depth of Cure, and Gap Formation. Oper Dent [Internet]. 2015, 40-1.
5. Jang J. Polymerization Shrinkage and Depth of Cure of Bulk-Fill Resin Composites and Highly Filled Flowable Resin. Operat Dent In-Press [Internet]. 2014, 39-6.
6. Moore B. Depth of Cure of Dental Resin Composites: ISO 4049 Depth and Microhardness of Types of Materials and Shades. Operative Dentistry [revista en Internet]. 2008 [Jul]; 33(4): 408-412.

7. Veranes Y. Determinación de la profundidad de curado y propiedades mecánicas de composites dentales fotopolimerizables experimentales. RCOE [revista en Internet]. 2005 [Abr]; 10(2): 161-170.
8. Toledano Pérez M. Arte y Ciencia de los Materiales Odontológicos. Editorial Avances Médico-Dentales, Madrid-España, 2009. 125-127.
9. Anusavice KJ, Phillips. Ciencia de los materiales dentales. 11 ed. Madrid (España): Elseiver Imprint; 2004.
10. Craig R. Materiales Dentales Restauradores. 7º. Edición. Argentina Editorial Mundi S.A.I.C. y F;1988.237-266.
11. Rueggeberg F. From vulcanite to vinyl, a history of resins in restorative dentistry. J Prosthet Dent 2002;87:364-79.
12. Albers. H. Odontología estética .Selección y coloración de materiales.1ed.Barcelona: Labor Barcelona; 1988.
13. Sarrett D. Clinical Challenges and the relevance of materials testing for posterior composites restorations. Dental Materials. 2005; 21(5): 9-20.
14. Pamir T, Türkün M. "Factors affecting microleakage of a packable resin composite: an in vitro study". Oper Dent. 2005.30(3):338-45.

15. Acuña P.A. Cementación de inlays de resina compuesta, Cementación de RC o VI. (Tesis Doctoral). Santiago: Universidad de Chile; 1992.
16. Bayne, C. Perspective. Our future in restorative dental Materials. J Esthetic Dent; 2000. 12:175-183.
17. Chávez J, Saravia R. Estudio comparativo in vitro de la microfiltración utilizando un sistema auto grabador imprimante con y sin grabado ácido previo de la cavidad. Gac Odontol.2000; 2(4): 17-20.
18. Anusavice KJ, Phillips. Ciencia de los materiales dentales. 11 ed. Madrid (España): Elsevier Imprint; 2004.
19. Barrancos MJ. Operatoria Dental Integración Clínica.4ta ed. Buenos Aires: Editorial Panamericana; 2006.
20. Borsatto M., Milori S., Chinelatti M., Ramos R., Salvitti R., Djama J. Comparison of marginal Microleakage of flowable composite restorations in primary molars prepared by high speed carbide bur, ErYA Glaser, and air abrasion. Journal of dentistry for children.2006; 73(2):122-126.
21. Mohsen N, Craig R. Effect of silanation of fillers on their dispersability by monomer systems. J. Oral Rehabil. 1995; 22(7):183-189.

22. Rodríguez G, Pereira S. Evolución y tendencias actuales en resinas compuestas. *Acta Odontológica Venezolana* .2008; 46(1):19.
23. Lutz f, Phillips R. A classification and evaluation of composite resin systems. *J Prosthet Dent*. 1983; 50(4):480-488.
24. Phillips, R. Avery, D. Mehra, R. Swatz, M. McCone, R. Observations on a composite resin for class II restorations: Three-years report. *J. Prost. Dent*. (1973); 30(6):891-897.
25. Belvedere, P. Posterior composites experiencing growth trend. *Dentistry Today*. (1999); 18(3). 44: 46-47.
26. Tveit, A. Espelid, I. Radiographic diagnosis of caries and marginal defect in connection with radiopaque composite fillings. *Dent. Mater* (1986); 2: 159 -162.
27. Miyasaka, T. Effects of shape and size of silanated fillers on mechanical properties of experimental photo cure composite resins. *J. Dent materials*. (1996); 15: 98-110.
28. Lang, B. Jaarda, M. Wang, R. Filler particle size and composite resin classification systems. *J Oral Rehabil*. (1992); 19: 569-584.
29. Braga R. Ballester R. Ferracane J. Factors involved in the development of polymerization shrinkage stress in resin-composites: a systematic review. *Dent Mater* (2005) ;21: 962-70.

30. Lutz F. Krejci I. Oldenburg T. Elimination of polymerization stresses at the margins of posterior composite resin restorations: A new restorative technique. *Quintessence Int* (1986); 17: 777-784.
31. Dletschi D, Magne P, Holz J. Recent trends in esthetic restorations for posterior teeth. *Quintessence Int*. 1994; 10(1):659-677.
32. Yin R. Heiss M. Sharp L. Suh B. Development and physical properties of a new low shrinkage composite. *J. Dent. Res.* (2002). 80: 514.
33. Geraldi, S. Perdigão, J. Microleakage of a New Restorative System in Posterior Teeth. *J. Dent. Res.* (2003); 81:127-65.
34. Henostroza G. Adhesión en Odontología Restauradora 2da ed. Editorial Ripano, Madrid, 2009.
35. Soderholm K. Degradation of glass filler in experimental composites. *J Dent Res* (1981);60:1867-75.
36. Kreulen C. Van Amerongen W. Wear measurements in clinical studies of composites resin restorations in the posterior region: A review. *J Dent. Child.* (1991); 58:109-123.
37. Leinfelder K. Wilder A. Jr. Teixeira L. Wear rates of posterior composite resins. *J Am Dent Assoc* (1986); 112: 829-833.

38. Braga R, Ferracane J. Alternatives In Polymerization Contraction Stress Management. Crit. Rev. Oral. Biol. Med. (2004); 15(3): 176 - 184.
39. Chen, H. Manhart, J. Hickel, R. Kunzelmann, K. Polymerization contraction stress in light-cured packable composite resins. Dent Mater (2001); 17: 253-259.
40. Lois F, Paz C. Pazos R, Rodríguez A. Estudio in vitro de microfiltración en obturaciones de clase II de resina compuesta condensable. Odontoestomatol. 2004; 20(2): 85-94.
41. Ferracane JL, Stansbury J, Burke FJT. Self-adhesive resin cements – chemistry, properties and clinical considerations. J Oral Rehabil. 38(4):295-314, 2011.
42. Moszner N, Salz U. New developments of polymeric dental composites. Prog. Polym. Sci. 2001; 26: 535-576.
43. Vega del Barrio JM. Materiales en Odontología. Fundamentos biológicos, clínicos, biofísicos y fisicoquímicos. Ediciones Avances. Madrid. 1996.
44. Ivoclar Vivadent S.A. Perfil técnico del producto Tetric® N-Ceram Bulk Fill . Madrid.2013.
45. Kerr Corporation. Perfil técnico del producto Sonic Fill™, USA.2012.

46. Martínez MA. Estudio comparativo in Vitro de la resistencia a la tensión diametral de una resina compuesta foto polimerizada con una lámpara L.E.D. y una lámpara halógena convencional. Trabajo de investigación requisito para optar al título de Cirujano dentista. Universidad de Chile. Santiago 2004.
47. Roberts HW, Vandewalle KS, Berzins DW, Charlton DG. Accuracy of LED and halogen radiometers using different light sources J Esthet Restor Dent. 2006;18 (4):214-22.
48. Rueggeberg FA. State of the art: Dental photocuring: A review. Dent Mater 2011; 27:39–52.
49. Heintze SD, Zimmerli B. Relevance of in vitro tests of adhesive and composite dental materials, a review in 3 parts; part 1: approval requirements and standardized testing of composite materials according to ISO specifications. II Schweiz Monatsschr Zahnmed. 2011;121(9):804-16.
50. Price RB, Murphy DG, Dérand T. Light energy transmission through cured resin composite and human dentin. Quintessence Int 2000; 31:659-67.
51. Sideridou ID, Achilias DS. Elution study of unreacted Bis-GMA, TEGDMA,UDMA, and Bis-EMA from light-cured dental resins and resin composites using HPLC. J Biomed Mater Res B Appl Biomater. 2005;74:617-26.

52. Kramer N, Lohbauer U, García Godoy F, Frankenberger R. Light curing of resin-based composites in the led era. *Am J Dent* 2008; 21:135-42.
53. Mehl A, Hickel R, Kunzelmann KH, Physical Properties. Gap formation of light-cured composites with and without softstart-polymerization. *J Dent* 1997;25:321-30.
54. Czasch P, & Ilie N. In vitro comparison of mechanical properties and degree of cure of bulk fill composites *Clinical Oral Investigations*. 2013; 17(1) 227-235.
55. Flury S, Peutzfeldt A, Lussi A. Influence of increment thickness on microhardness and dentin bond strength of bulk fill resin composites. *Dent Mater*. [Internet]. 2014 [Feb]; 30(10):1104-12.

XI. ANEXOS

ANEXO N° 1: Ficha de recolección de datos

		DISTANCIA DESDE LA PUNTA DE LA LAMPARA LED HASTA LA RESINA			
		0 mm		4mm	
TIPO DE RESINA		H.absoluta	Prof de poli	H.absoluta	Prof de poli
	RESINA A	7.97	3.985	6.82	3.41
		8.02	4.01	6.68	3.34
		7.72	3.86	6.78	3.39
		7.77	3.885	6.38	3.19
		7.73	3.865	7.10	3.55
		7.96	3.98	6.74	3.37
	RESINA B	6.70	3.35	5.44	2.72
		6.39	3.195	5.79	2.895
		6.78	3.39	6.16	3.08
		6.66	3.33	6.03	3.015
		6.20	3.10	6.30	3.15
		6.40	3.20	6.13	3.065
	RESINA CONTROL	5.27	2.635	4.38	2.19
		4.82	2.41	4.43	2.215
		5.21	2.605	4.22	2.11
		4.99	2.495	4.26	2.13
		4.87	2.435	4.23	2.115
		5.18	2.59	4.44	2.22

MAGEN N° 5: Resina A



IMAGEN N° 6: Resina B



IMAGEN N° 7: Resina control



IMAGEN N° 8: Moldes



IMAGEN N° 9: Dispositivo de separación



IMAGEN N° 10: Micrómetro de 0,01 de precisión.



ANEXO N° 3: APLICACIÓN DEL MÉTODO ISO 4049

IMAGEN N° 11: Colocación del molde sobre la platina portaobjetos y la cinta celuloide.

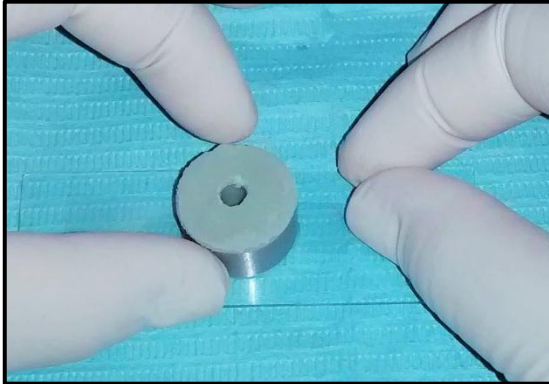


IMAGEN N° 14: Colocación de la cinta celuloide sobre la parte superior del molde



IMAGEN N° 12: Colocación de la resina A en el molde.

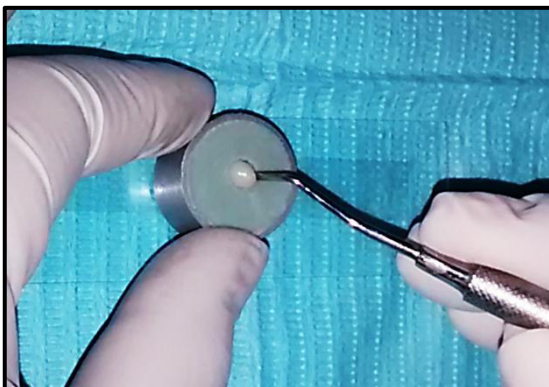


IMAGEN N° 15: Presión con el segundo portaobjetos de vidrio

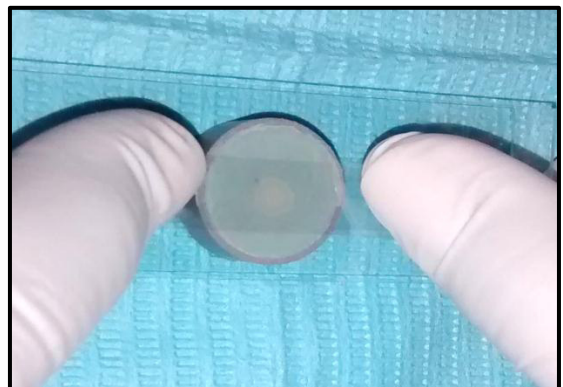


IMAGEN N° 13: Colocación de la resina B en el molde



IMAGEN N° 16: Retiro del portaobjetos superior



IMAGEN N° 17: Fotopolimerización a 0mm de distancia

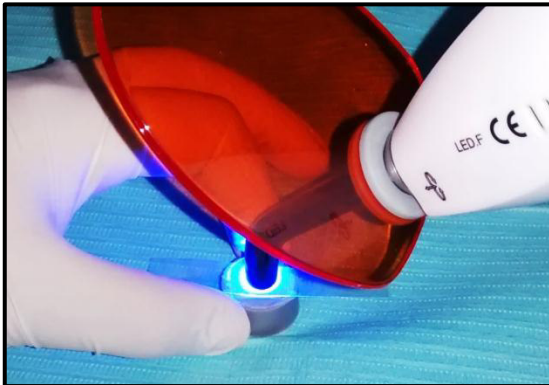


IMAGEN N° 19: Retiro del bloque de resina

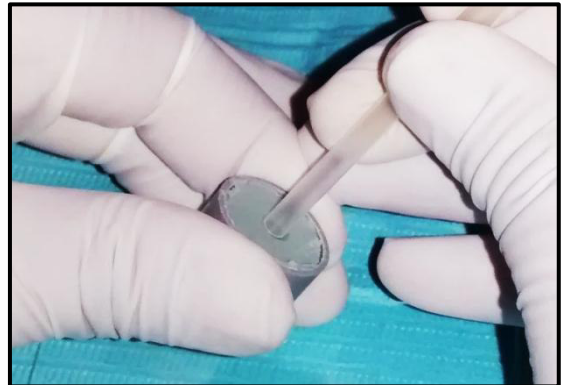


IMAGEN N° 18: Fotopolimerización a 4mm de distancia con el dispositivo.

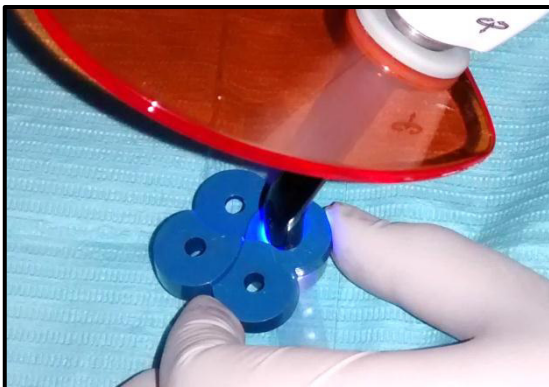


IMAGEN N° 20 Retiro de la resina sin polimerizar.

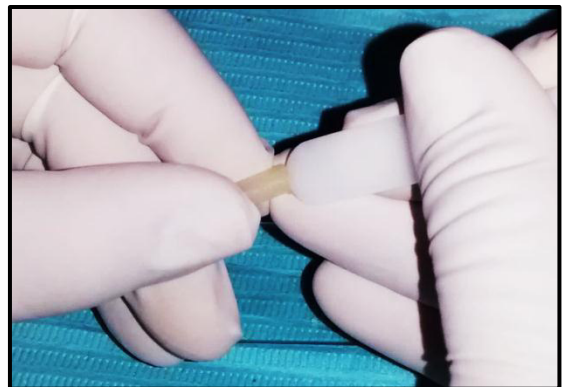


IMAGEN N° 21: Medida de la altura absoluta con un micrómetro.



ANEXO N° 4: Fotografías de las mediciones de la muestra con el micrómetro de 0.01 de precisión.

Resina A a 0mm de distancia de fotoactivación

IMAGEN N° 22: Muestra 1



Profundidad de
polimerización: = **3.985**

IMAGEN N° 25: Muestra 4



Profundidad de
polimerización: = **3.885**

IMAGEN N° 23: Muestra 2



Profundidad de
polimerización: = **4.01**

IMAGEN N° 26: Muestra 5



Profundidad de
polimerización: = **3.865**

IMAGEN N° 24: Muestra 3



Profundidad de
polimerización: = **3.86**

IMAGEN N° 27: Muestra 6



Profundidad de
polimerización: = **3.98**

Resina A a 4mm de distancia de fotoactivación

IMAGEN N° 28: Muestra 7



Profundidad de
polimerización: = 3.41

IMAGEN N° 31: Muestra 10



Profundidad de
polimerización: = 3.19

IMAGEN N° 29: Muestra 8



Profundidad de
polimerización: = 3.34

IMAGEN N° 32: Muestra 11



Profundidad de
polimerización: = 3.55

IMAGEN N° 30: Muestra 9



Profundidad de
polimerización: = 3.39

IMAGEN N° 33: Muestra 12



Profundidad de
polimerización: = 3.37

Resina B a 0mm de distancia de fotoactivación

IMAGEN N° 34: Muestra 13



Profundidad de
polimerización: = 3.35

IMAGEN N° 37: Muestra 16



Profundidad de
polimerización: = 3.33

IMAGEN N° 35: Muestra 14



Profundidad de
polimerización: = 3.195

IMAGEN N° 38: Muestra 17



Profundidad de
polimerización: = 3.10

IMAGEN N° 36: Muestra 15



Profundidad de
polimerización: = 3.39

IMAGEN N° 39: Muestra 18



Profundidad de
polimerización: = 3.20

Resina B a 4mm de distancia de fotoactivación

IMAGEN N° 40: Muestra 19



Profundidad de
polimerización: = 2.72

IMAGEN N° 43: Muestra 22



Profundidad de
polimerización: = 3.015

IMAGEN N° 41: Muestra 20



Profundidad de
polimerización: = 2.895

IMAGEN N° 44: Muestra 23



Profundidad de
polimerización: = 3.15

IMAGEN N° 42: Muestra 21



Profundidad de
polimerización: = 3.08

IMAGEN N° 45: Muestra 24



Profundidad de
polimerización: = 3.065

Resina control a 0mm de distancia de fotoactivación

IMAGEN N° 46: Muestra 25



Profundidad de
polimerización: = **2.635**

IMAGEN N° 49: Muestra 28



Profundidad de
polimerización: = **2.495**

IMAGEN N° 47: Muestra 26



Profundidad de
polimerización: = **2.41**

IMAGEN N° 50: Muestra 29



Profundidad de
polimerización: = **2.435**

IMAGEN N° 48: Muestra 27



Profundidad de
polimerización: = **2.605**

IMAGEN N° 51: Muestra 30



Profundidad de
polimerización: = **2.59**

Resina control a 4mm de distancia de fotoactivación

IMAGEN N° 52: Muestra 31



Profundidad de
polimerización: = **2.19**

IMAGEN N° 55: Muestra 34



Profundidad de
polimerización: = **2.13**

IMAGEN N° 53: Muestra 32



Profundidad de
polimerización: = **2.215**

IMAGEN N° 56: Muestra 35



Profundidad de
polimerización: = **2.115**

IMAGEN N° 54: Muestra 33



Profundidad de
polimerización: = **2.11**

IMAGEN N° 57: Muestra 36



Profundidad de
polimerización: = **2.22**

ANEXO N° 5: Tabla de la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk.

		Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
Profundidad de polimerización	Resina A 0mm	,832	6	,111
	Resina A 4mm	,947	6	,714
	Resina B 0mm	,921	6	,510
	Resina B 4mm	,909	6	,431
	Resina control 0mm	,898	6	,363
	Resina control 4mm	,841	6	,133

ANEXO N° 6: Prueba T-Student y prueba de Levene de los grupos Resina A a 0mm y Resina A a 4mm de distancia de fotoactivación.

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		Prueba t para la igualdad de medias				
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar
Profundidad de polimerización	Se asumen varianzas iguales	.174	.686	10.113	10	.000	.5558	.0549
	No se asumen varianzas iguales			10.113	8.059	.000	.5558	.0549

ANEXO N° 7: Prueba T-Student y prueba de Levene de los grupos Resina B a 0mm y Resina B a 4mm de distancia de fotoactivación.

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		Prueba t para la igualdad de medias				
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar
Profundidad de polimerización	Se asumen varianzas iguales	.401	.541	3.479	10	.006	.2733	.0785
	No se asumen varianzas iguales			3.479	9.092	.007	.2733	.0785

ANEXO N° 8: Prueba T-Student y prueba de Levene de los grupos Resina control a 0mm y Resina control a 4mm de distancia de fotoactivación.

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		Prueba t para la igualdad de medias				
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar
Profundidad de polimerización	Se asumen varianzas iguales	7.202	.023	8.318	10	.000	.3650	.0438
	No se asumen varianzas iguales			8.318	7.652	.000	.3650	.0438

ANEXO N° 9: Prueba ANOVA para las muestras de la Resina A fotoactivada a 0mm, Resina B fotoactivada a 0mm y Resina control fotoactivada a 0mm.

Profundidad de Polimerización					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	5,905	2	2,952	337,360	,000
Dentro de grupos	,131	15	,009		
Total	6,036	17			

ANEXO N° 10: Prueba ANOVA para las muestras de la Resina A fotoactivada a 4mm, Resina B fotoactivada a 4mm y Resina control fotoactivada a 4mm.

Profundidad de Polimerización					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	4,595	2	2,298	170,381	,000
Dentro de grupos	,202	15	,013		
Total	4,797	17			

ANEXO N° 11: Prueba HSD Tukey para los grupos de las resinas fotoactivadas a 0mm de distancia.

Distancia de fotoactivación	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
Resina control 0mm	6	2,5283 3		
Resina B 0mm	6		3,2608 3	
Resina A 0mm	6			3,9308 3
Sig.		1,000	1,000	1,000

ANEXO N° 12: Prueba HSD Tukey para los grupos de las resinas fotoactivadas a 4mm de distancia

Distancia de fotoactivación	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
Resina control 4mm	6	2,1633 3		
Resina B 4mm	6		2,9875 0	
Resina A 4mm	6			3,3750 0
Sig.		1,000	1,000	1,000